

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра «Электротехнических комплексов и материалов»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование влияния температуры на время до пробоя изолированных жил кабеля на основе полипропилена

УДК 622.276.53:621.315.616.9:537.521

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4В	Мараткызы Молдир		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меркулов Валерий Иванович	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А.А.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов И.И.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И.О. Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭКМ	Гарганеев А.Г.	д.т.н., профессор		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
Профессиональные компетенции	
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических ограничений.
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Кафедра «Электротехнических комплексов и материалов»

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) _____ (Дата) Гарганеев А.Г.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группы	ФИО
5ГМ4В	Мараткызы Молдир

Тема работы:

Исследование влияния температуры на время до пробоя изолированных жил кабеля на основе полипропилена	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Справочные материалы, ТУ, ГОСТы, испытание материалов и КИ, периодические издания по теме работы
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Литературный обзор для описания существующих подходов к изучению2. Методика и программа испытания3. Испытания образцов на время до пробоя4. Проведения анализа зависимости механических характеристик от температуры5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение6. Социальная ответственность
Перечень графического материала	Презентация в Microsoft PowerPoint

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко А.А.
Социальная ответственность	Романцов И.И.
Приложение А	Федоринова З.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Обзор литературы, расчет и аналитика, результаты проведения исследования	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меркулов В.И.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группы	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4В	Мараткызы Молдир		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4В	Мараткызы Молдир

Институт	ЭНИН	Кафедра	Электротехнические комплексы и материалы
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Для исследования необходимо два человека: руководитель и исполнитель
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормированные расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение, Энергетическая эффективность»

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	В данном разделе: Инициализация исследования (актуальность), определение задач, необходимых для его реализации
2. Разработка устава научно-технического проекта	Не разрабатывается
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Разработка календарного плана, поределение расходов на НТИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка научно-экономической эффективности НТИ и его целесообразности точки зрения ресурсоэффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Иерархическая структура работ проекта
3. Сегментирование рынка
4. Оценка конкурентоспособности технических решений
5. График проведения и бюджет НТИ
6. SWOT-анализ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А. А.	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4В	Мараткызы Молдир		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4В	Мараткызы Молдир

Институт	Энергетический	Кафедра	Электротехнические комплексы и материалы
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p><u>Помещение центра ресурсосбережения в ТПУ</u></p> <p>Закрытое сухое помещение, с хорошими условиями освещенности. В помещении установлено 3 медицинских стерилизаторов (термошкаф), где происходит стерилизация сухим и горячим воздухом. Помещение оснащено вентиляционной системой, имеется естественное освещение. Уровень шума 50 дБА.</p>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 	<p>Выявленным вредным фактором является:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Микроклимат; 2. Повышенный уровень шума; 3. Электромагнитное излучение ; 4. Недостаток естественного света.
<p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); <p>пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</p>	<p>Выявленным опасным фактором является:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Электроопасность; 2. Механическая опасность; 3. Пожароопасность.
2. Экологическая безопасность:	Влияние на окружающую среду

<ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<i>отсутствует</i>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<i>Пожарная безопасность (план эвакуации)</i>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Романцов И.И.	к.т.н. доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4В	Мараткызы М.		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Уровень образования Магистратура

Кафедра «Электротехнических комплексов и материалов»

Период выполнения (осенний / весенний семестры 2014/2016 учебного года)

Форма представления работы:

магистерской диссертации

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
1.12.2014 г.	<i>Литературный обзор</i>	100
10.02.2015 г.	<i>Подготовка образцов</i>	100
3.03.2016 г.	<i>Проведение экспериментальных исследований</i>	100
10.05.2016 г.	<i>Анализ проведенных экспериментальных исследований</i>	100
5.05.2016 г.	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	5
3.05.2016 г.	<i>Социальная ответственность</i>	5
20.05.2016 г.	<i>Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке</i>	5

Составил руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меркулов В.И.	к.т.н		

СОГЛАСОВАНО:

И.О. Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭКМ	Гарганеев А.Г	д.т.н., профессор		

Реферат

Темой данной работы является изучение закономерностей электрического старения изоляции нефтепогружных кабелей при одновременном воздействии повышенных температур и напряженностей электрического поля. Работа состоит из четырех глав и заключения. Имеет страниц 130, 30 рисунков, 23 таблиц, 52 источников и 2 приложения.

Ключевые слова: КАБЕЛЬ, ИЗОЛЯЦИЯ, ПРОБОЙ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ, ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ, ПОЛИПРОПИЛЕН.

В первой главе дается литературный обзор существующих данных по вопросу пробоя и старению полимерных диэлектриков. Рассмотрены возможные механизмы электрического старения теории, объясняющие его основные закономерности.

Вторая глава посвящена рассмотрению методических вопросов по проведению испытаний на пробой, выбору образцов и установки для проведения испытаний.

В третьей главе рассмотрены полученные экспериментальные результаты исследования зависимости времени до пробоя от температуры и напряженности электрического поля. Дается их анализ и обработка на основе термофлуктуационной теории разрушения. Рассмотрены выводы по полученным результатам.

В четвертой главе рассмотрена экономическая эффективность и значимость работы.

Обозначения и сокращения

В настоящей работе использованы следующие обозначения и сокращения:

КИ – кабельные изделия

ТУ – технические условия

ПП – полипропилен

ЧР – частичные разряды

Оглавление

1 ГЛАВА. Литературный обзор.....	15
1.1 Обзор литературных данных по изучению длительной электрической прочности диэлектриков	17
1.2 Особенности развития пробоя в однородных и неоднородных диэлектриках.....	18
2 Обзор литературных данных и закономерностей электрического старения в полимерных диэлектриках	20
2.1 Влияние частичных разрядов на старение полимеров	27
3 Теоретические представления о механизме электрического старения	29
4 Уравнение кривой жизни на основе термофлуктуационной теории.....	31
2 ГЛАВА. Методическая часть.....	35
2.1 Выбор испытательной установки	35
2.2 Выбор образцов и электродов для испытания на пробой и тербования, предъявляемые к ним	37
2.3 Описание выбранной экспериментальной установки и порядок работы на установке	42
2.3.1 Порядок выполнения работы	44
2.3.2 Меры по технике безопасности	45
2.4 Конкретная методика используемая в работе	46
3 Анализ погрешностей при проведении испытаний	48
3.1 Оценка погрешности измерений	49
3 ГЛАВА. Экспериментальная часть	50
3.1 Определение кратковременного пробивного напряжения.....	50
3.2 Выбор испытательной напряженности электрического поля и температуры	52

3.3 Описание полученных результатов исследования зависимости времени до пробоя	53
3.4 Анализ и обсуждение полученных результатов	57
3.5 Анализ возможности описания полученных нами экспериментальных зависимостей времени до пробоя от температуры и напряженности электрического поля на основе эмпирических уравнений	63
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	68
4.1 Планирование процесса управления НТИ.....	69
4.2 Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения.....	72
4.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации	74
4.4 Методы коммерциализации результатов научного-технического исследования	75
4.5 Планирование управления научно-техническим проектом	77
4.6 Контрольные события проекта	77
4.7 Затраты на оплату труда.....	79
4.8 Дополнительная заработная плата научного-производственного персонала	82
4.9 Отчисление на социальные нужды.....	83
4.10 Накладные расходы	83
4.11 Определение экономической эффективности НТИ.....	83
5 Социальная ответственность	87
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	87
5.2 Опасность поражения электрическим током	89
5.3 Производственная санитария.....	90
5.4 Освещенность	92

5.5 Шум.....	93
5.7 Электробезопасность.....	94
5.7.1 Требования безопасности при аварийных ситуациях.....	95
5.8 Механическая опасность.....	96
5.9 Пожарная безопасность.....	96
5.10 Охрана окружающей среды.....	99
5.11 Защита в чрезвычайных ситуациях.....	100
5.12 Загрязнение атмосферы.....	100
5.13 Основные мероприятия по защите окружающей среды.....	100
Заключение.....	102
Список использованных источников.....	104
Приложение А.....	108
Приложения В.....	129

Введение

В настоящее время проблема обеспечения надежности электроизоляционных конструкций стоит очень остро. Поэтому изучение основных закономерностей электрического старения и причин отказа электроизоляционных конструкций имеет большое не только теоретическое, но и практическое значение. В настоящее время для эксплуатации нефтяных скважин применяются кабели, которые обеспечивают работу изоляции в условиях воздействия повышенных температур, высокого давления и агрессивных сред. Одним из видов таких кабелей, которые разработаны и изготавливаются на заводе «Сибкабель» для таких целей является кабель марки КППБК на основе использования полипропиленовой изоляции.

Для оценки надежности работ таких кабелей и обеспечения надежной работы электрооборудования необходимо иметь информацию о влиянии различных факторов на время их до пробоя. В настоящее время в литературе не имеется достаточно данных, позволяющих ответить на данный вопрос (оценить долговечность такой изоляции с учетом воздействующих факторов). Это послужило основой для постановки данной работы и явилось ее целью. В качестве основных задач, решаемых в данной работе, явилось исследование влияния температуры и напряженности поля на время до пробоя полипропиленовой изоляции, применяемой при изготовлении рассматриваемых кабелей.

В связи с этим, изучение закономерности процесса старения таких диэлектриков позволит более правильно подойти к выбору рабочих напряженностей электрического поля и, тем самым, оценить работоспособность и надежность таких кабелей в процессе эксплуатации. Поэтому такая работа является **актуальной**.

Целью данной работы является исследование влияние температуры и напряженности электрического поля на время до пробоя изолированных жил кабеля с полипропиленовой изоляцией и обеспечение надежности.

Личный вклад студента состоит в:

- Участии при решении постановки целей и задач в диссертации;
- Разработке методики проведения испытаний;
- В анализе и обработке полученных результатов.

Апробация работы и публикации. По полученным результатам представлен один доклад на III Российской молодежной научной школе-конференции «Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи» (г.Томск, 2015г).

1 ГЛАВА. Литературный обзор

Отсутствие в литературе необходимой информации о влиянии различных эксплуатационных факторов на время до пробоя требует анализа закономерности процесса отказа изоляции под действием этих факторов. Для этого рассмотрим общие понятия о пробое диэлектриков, механизмах его развития, его формы и основные закономерности процесса старения.

1.1 Обзор литературных данных по изучению длительной электрической прочности диэлектриков

В процессе эксплуатации ЭИК подвергаются воздействию различных факторов: рабочему напряжению, коммутационным перенапряжениям, колебаниям температуры, влажности окружающей среды, механическим нагрузкам и др.

За счет воздействия этих факторов в электрической изоляции ЭИК происходят различные физико-химические процессы, вызывающие ухудшение ее диэлектрических свойств. Как правило, эти процессы вызывают увеличение $\text{tg}\delta$, снижение удельного сопротивления изоляции и др. Механизм процессов, протекающих при электрическом старении диэлектриков, достаточно сложен и многообразен и зависит от материала диэлектриков и условий эксплуатации.

К основным факторам, оказывающим наибольшее влияние можно отнести температуру окружающей среды, величину действующей напряженности электрического поля, наличие ч.р., а также механические воздействия.

Под электрической прочностью понимают такое состояние диэлектрика, когда он уже не выдерживает приложенное к нему электрическое напряжение и в нем образуется сквозной канал пробоя. При этом в диэлектрике наблюдается скачкообразное возрастание тока, и он теряет свои электроизоляционные

свойства. В твердом диэлектрике, в отличие от газообразных и жидких диэлектриков, пробой всегда приводит к резкому остаточному изменению свойств этого диэлектрика (механическое разрушение, проплавление).

Напряжение, приложенное к диэлектрику и вызывающее пробой, называется пробивным напряжением. За меру электрической прочности диэлектрика принимают среднюю пробивную напряженность однородного электрического поля, рассчитываемую:

$$E_{\text{пр.ср}} = U_{\text{пр}} / d, \quad (1.1.1)$$

где: $U_{\text{пр}}$ – пробивное напряжение, В; d – толщина диэлектрика, м.

В силу особенностей электроизоляционной конструкции, неоднородности самого диэлектрика в его объеме могут накапливаться объемные заряды, приводящие к искажению внутреннего электрического поля и снижению пробивного напряжения. Рассмотрим подробнее виды пробоев.

Согласно ГОСТ 21515-76, пробой – это явление образования в диэлектрике проводящего канала под действием электрического поля.

1.2 Особенности развития пробоя в однородных и неоднородных диэлектриках

Пробой твердых диэлектриков в своем развитии проходит по крайней мере две стадии: подготовительную (стадию потери электрической прочности) и завершающую (стадию разрушения). По природе процессов, определяющих развитие подготовительной стадии, различают три основные формы пробоя твердых диэлектриков:

1. Электрический;
2. Тепловой;
3. Электрохимический.

Рассмотрим кратко основные закономерности; характерные для каждой формы.

Электрический пробой обусловлен электронными процессами, происходящими в сильном электрическом поле и приводящими к лавинообразному увеличению концентрации носителей в диэлектрике. Типичным признаком электрической формы пробоя является слабая зависимость пробивной напряженности от температуры, толщины образца и времени приложения напряжения, если обеспечена достаточная однородность диэлектрика и равномерность электрического поля [1, с. 24].

Тепловой пробой обусловлен прогрессивно нарастающим выделением теплоты в диэлектрике за счет диэлектрических потерь. Типичными признаками тепловой формы пробоя являются: экспоненциальное уменьшение пробивного напряжения с ростом температуры в соответствии с уменьшением квадратного корня из значения активного сопротивления диэлектрика; обратно пропорциональная зависимость между квадратом пробивного напряжения и временем выдержки τ_{ϕ} (при малых значениях τ_{ϕ}); прогрессирующий нагрев диэлектрика, который в одних случаях может быть определен непосредственно по возрастанию температуры, а в других косвенным путем (по увеличению проводимости или диэлектрических потерь с течением времени) [1, с. 24].

Электрохимический пробой (электрическое старение) обусловлен сравнительно медленными изменениями химического состава и структуры диэлектрика, развивающимися под действие электрического поля или разрядов в окружающей среде [1, с. 24]. Электрическое старение развивается при гораздо более низких значениях напряжения, чем пробивное напряжение при электрическом и тепловом пробое. Время $\tau_{ж}$ от момента подключения напряжения U к электродам образца до завершения пробоя называется временем жизни. Значение $\tau_{ж}$ уменьшается с повышением U , а во многих случаях и с возрастанием температуры.

2 Обзор литературных данных и закономерностей электрического старения полимерных диэлектриках

Наибольший интерес представляет вопрос закономерностей электрического старения полимерных диэлектриков, который может быть вызван многими факторами. Основными из них являются:

1. окислением полимеров высокореактивными радикалами, существующими только в зоне действия разряда;
2. реакциями микрорадикалов полимера, образовавшимися под действием разрядов, с кислородом газовой среды или другими активными веществами, возникшими в результате ч.р.;
3. бомбардировкой поверхности диэлектрика электронами и ионами, образующимися в процессе протекания ч.р.

Иногда эрозию связывают с процессами нагрева поверхности диэлектрика в местах соприкосновения с каналами отдельных ч.р. и последующего испарения диэлектрика. Эрозия и разрушение диэлектрика могут происходить за счет электронной бомбардировки его поверхности, так как значительная часть энергии разряда переносится электронами. Это подтверждается данными, по которым эрозия образцов с поверхности, расположенной перпендикулярно направлению разрядов, значительно интенсивнее эрозии с поверхности, расположенной вдоль направления разрядов. С течением времени происходят местные увеличения глубины эрозии; постепенно выделяются преимущественные направления интенсивного разрушения материала, которые в ряде случаев могут превращаться в ветвистые разрушения (дендриты). При ч.р. малой интенсивности основную роль в процессе эрозии играет реакция окисления, скорость которой при свободном доступе кислорода возрастает в 1,5 раза. При интенсивных разрядах причиной разрушения диэлектрика преимущественно является термодеструкция полимеров за счет энергии разряда.

Все это в совокупности вызывает преждевременное старение изоляции и приводит к ее отказу.

Закономерности старения, т.е. зависимости времени жизни от температуры, напряженности и частоты электрического поля были систематически изучены для пленочных полимерных диэлектриков: полиэтилена (ПЭ), полистирола (ПС), полиэтилентерефталата (ПЭТФ), политетрафторэтилена (ПТФЭ). Для керамических диэлектриков и, в частности, для тонких слоев алунда (в вакууме) закономерности старения изучены только в постоянном электрическом поле, ибо этот случай представляет наибольший интерес для практики (алундовые покрытия подогревателей при эксплуатации находятся в постоянном поле, а рутиловая керамика в переменном поле практически не стареет).

Старение органических (полимерных) диэлектриков развивается наиболее быстро (наименьшие значения τ) в переменном электрическом поле, когда имеются достаточно интенсивные частичные разряды. Старение полимерных диэлектриков в постоянном поле происходит с заметной скоростью только при повышенной температуре, когда интенсивность частичных разрядов также повышается (рисунок 2.1).

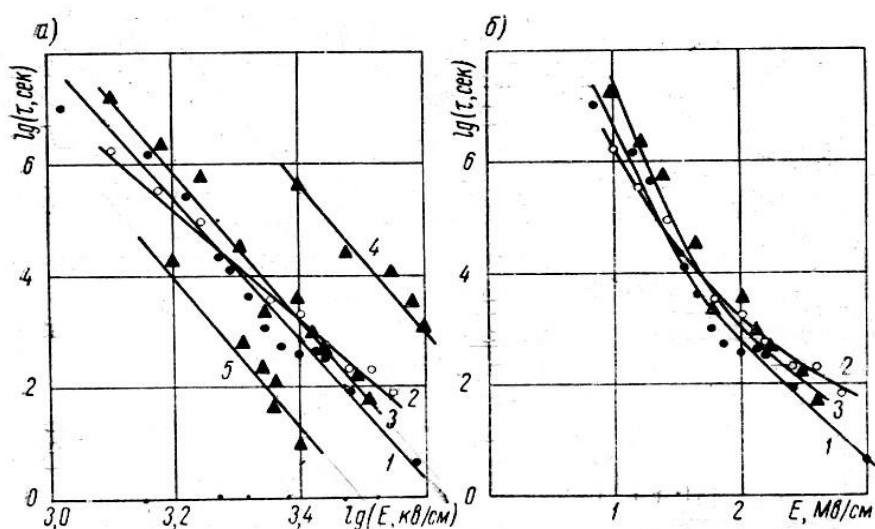


Рисунок 2.1 – Зависимость $\lg \tau = \tau (\lg E)$ и $\lg \tau = \tau (E)$ в постоянном поле для пленок ПЭ, $\theta = 70^\circ \text{C}$ (1), ПС, $\theta = 70^\circ \text{C}$ (2), ПЭТФ, $\theta = 120^\circ \text{C}$ (3), $\theta = 85^\circ \text{C}$ (4), $\theta = 150^\circ \text{C}$ (5)

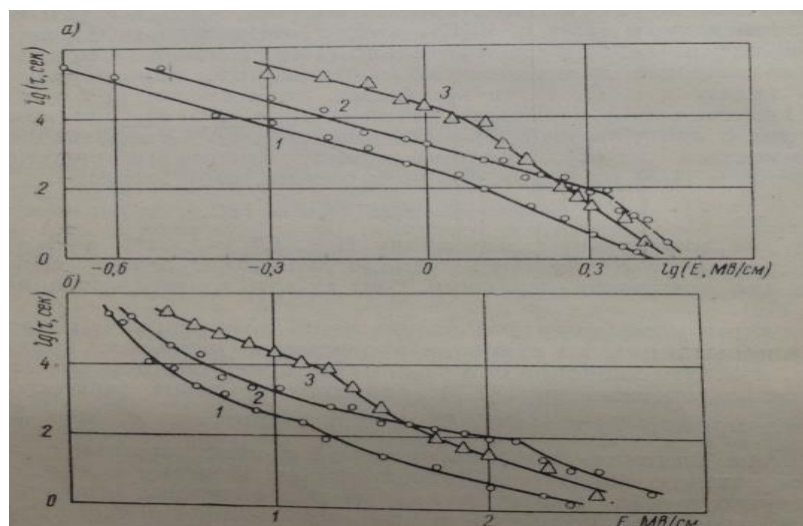


Рисунок 2.2 – Зависимость $\lg \tau = \tau(\lg E)$ и $\lg \tau = \tau(E)$ в переменном поле для пленок ПТФЭ (1), ПЭТФ (2), ПЭ (3), $\theta = 20^\circ \text{C}$

Механизм электрического старения разных диэлектриков, перечислен и они различены. Подробнее этот вопрос будет обсуждаться в дальнейшем, однако уже здесь можно высказать предварительные замечания. Действительно, старение органических (полимерных) диэлектриков развивается наиболее быстро (наименьшие значения τ) в переменном электрическом поле, когда имеются достаточно интенсивные частичные разряды. Старение полимерных диэлектриков в постоянном поле происходит с заметной скоростью только при повышенной температуре, когда интенсивность частичных разрядов также повышается. Поэтому можно предполагать, в соответствии с опытными данными и согласно мнению ряда авторов, что старение полимерных пленок обусловлено, главным образом, частичными разрядами в воздушных прослойках изоляции.

Различные физические и физико-химические механизмы, приводящие к развитию в диэлектриках необратимых процессов – старения, пробоя и механического разрушения, – существенно различаются по длительности. В случае, когда потеря электрической прочности происходит из-за быстрых электронных процессов (электронных лавин), необратимые процессы развиваются за время 10^{-6} с. При других механизмах диэлектрик выходит из

строая за гораздо более длительные временные промежутки. Например, электротепловой пробой развивается за время $10^{-3} - 10^{-2}$ с, т. е. гораздо медленнее, чем электрический пробой. При этом механизме пробоя количество теплоты, выделяющееся в диэлектрике под воздействием электрического поля за счет электропроводности и диэлектрических потерь, превосходит величину теплоотдачи в окружающую среду. В результате тепловой баланс диэлектрика нарушается, что приводит к потере тепловой устойчивости из-за повышения электропроводности диэлектрика с ростом температуры, перегреву и в конечном итоге – к пробую.

Электрохимические процессы, приводящие к старению перед пробоем, развиваются медленнее, чем тепловые. В твердых диэлектриках возможны разнообразные механизмы электролиза, прораствание металлических дендритов сквозь толщу диэлектрика, различные электрохимические процессы на поверхности и в объеме образца (вблизи газовых включений – пор). Такие явления были названы электродеградацией. Они приводят к значительному снижению пробивной напряженности и могут быть квалифицированы как электрохимический пробой. Время, за которое развиваются электрохимические процессы, оценивается в разных случаях интервалом $10^3 - 10^8$ с.

Таким образом, время развития необратимых процессов можно считать одним из важных параметров, который может быть использован для установления различия между возможными механизмами электрического пробоя. Время, в течение которого развивается и происходит электрический пробой, является небольшим ($10^{-8} - 10^{-5}$) с. Большой диапазон значений времени пробоя объясняется не только особенностями диэлектриков (газы, жидкости, кристаллы) но и различиями в условиях экспериментов (температура, уровень облучения, толщина образцов, величина перенапряжения). Видно, что механизмы электрического пробоя в тонких слоях и при большой длине разрядного промежутка существенно различаются. В окрестности некоторой критической длины $\delta_{кр}$ время развития пробоя скачком

изменяется на два порядка. При больших и малых δ характер зависимости $\tau_{эл}$ от δ отличается.

В сильных электрических полях проводимость диэлектриков повышается, и зависимость $\sigma(E)$ становится нелинейной. Однако, если величина электрического поля не превышает порогового значения, изменения электрических свойств диэлектриков остаются обратимыми. Напротив, если величина электрического поля превышает это пороговое значение, то в диэлектрике происходят необратимые изменения свойств – электрическое старение и пробой. Необходимо отметить, что электрофизическим параметрам диэлектрика является только пробивная напряженность при электронном пробое. Величина пробивной напряженности при электротепловом и электрохимическом механизмах пробоя в значительной мере определяется случайными факторами (зависит от окружающей диэлектрик среды или от примесей) и не может служить точной характеристикой того или иного электроизоляционного вещества.

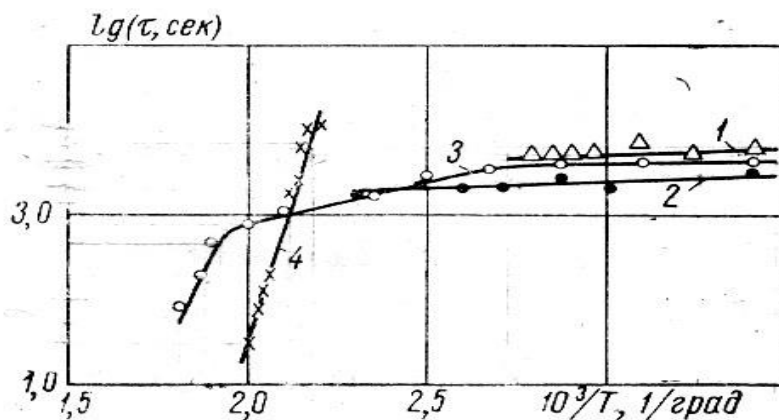


Рисунок 2.3 – Зависимости $\lg \tau = \tau(1/T)$ для полимерных пленок ПС (1), ПЭТФ (2) и ПТФЭ (3) в переменном поле $f=50$ Гц, а также для пленки ПТФЭ в постоянном поле в вакууме (4)

Из рисунка 2.3 видно, что время жизни пленочных полимерных диэлектриков в переменном поле почти не зависит от температуры: для ПТФЭ в интервале от 20 до 100⁰С, а для ПС ПЭТФ - во всём допустимом для них интервале рабочих температур. При старении этих же полимерных пленок в

постоянном электрическом поле время жизни существенно зависит от температуры (рисунок 2.4), так, что Δw составляет от 0.5 эВ для ПС до 2.0 эВ для ПЭТФ. Такой характер зависимостей $\tau=\tau(T)$ как в постоянном, так и в переменном поле подтверждает предположение, согласно которому старение органических диэлектриков, обусловлено, прежде всего, частичными разрядами в газовых прослойках изоляции.

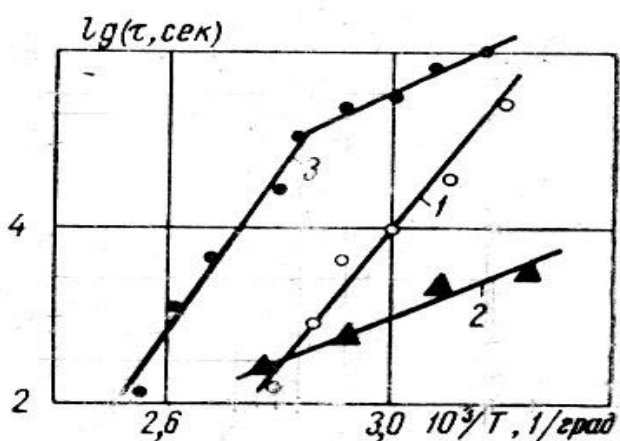


Рисунок 2.4 – Зависимости $\lg \tau=\tau(1/T)$ для полимерных пленок ПЭ (1), ПС (2), ПЭТФ (3) в постоянном токе.

Действительно, согласно простейшим теоретическим представлениям, частота следования разрядов в переменном поле практически не должна зависеть от температуры, а в постоянном поле – должна возрастать с ростом температуры в соответствии с увеличением электропроводности полимерного диэлектрика. Таким образом, зависимость $\tau=\tau(T)$ для полимерных пленок качественно согласуется с зависимостью частоты следования разрядов от температуры. Приведённые примеры показывают, что зависимость времени жизни от температуры может быть использована при обсуждении вопроса о механизме электрического старения того или иного диэлектрика.

Некоторые авторы указывают [2], что время жизни органической изоляции обратно пропорционально частоте приложенного напряжения. Для того чтобы проверить, в какой степени это оправдывается для полимерных пленочных диэлектриков, были построены зависимости $\lg(\tau f)=\varphi(\lg E)$ (рисунок 2.5).

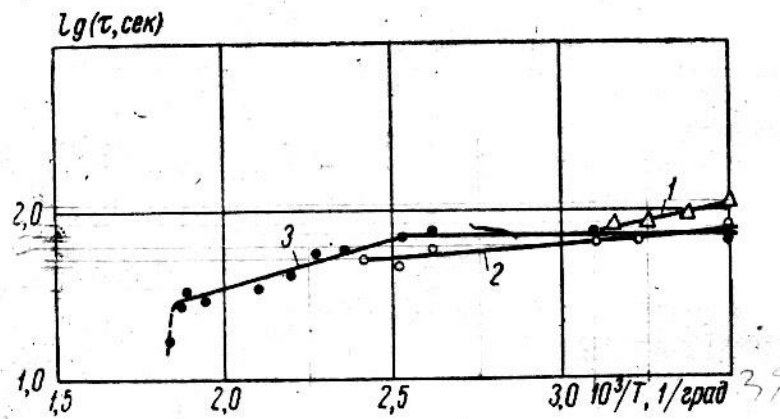


Рисунок 2.5 – Зависимости $\lg \tau = \tau(1/T)$ для пленок ПС (1), ПЭТФ (2), ПТФЭ (3), в переменном поле, $f=240$ кГц.

Видно, что при значениях $E < E^*$ расхождения между кривыми $\lg(\tau f) = \varphi(\lg E)$, соответствующими разным значениям f , не выходит за пределы разброса. Следовательно, при $E < E^*$ приблизительно соблюдается соотношение $\tau f = \text{const}$ при $E = \text{const}$, при увеличении частоты в 4800 раз τf меняется не более чем в 2-3 раза. В интервале $E > E^*$, наоборот, τf так резко уменьшается с повышением частоты, что значения произведения τf при данном E , но различных f даже не всегда удается сравнить между собой. Например, при увеличении f в 2-4 раза значение τf уменьшается в 10^2 - 10^3 раз.

И так, приведенные результаты позволяют установить основные закономерности электрического старения диэлектриков и высказать некоторые предположения о причинах старения:

1) В постоянном электрическом поле зависимости $\tau = \tau(E)$ при $T = \text{const}$ как для полимерных, так и для керамических диэлектриков удовлетворительно описываются степенным соотношением, а зависимости $\tau = \tau(T)$ при $E = \text{const}$ – экспоненциальным соотношением.

2) В переменном электрическом поле для полимерных диэлектриков наблюдается степенная зависимость $\tau = \tau(E)$ при $T = \text{const}$, и в значительном интервале θ время жизни почти не зависит от температуры при $E = \text{const}$.

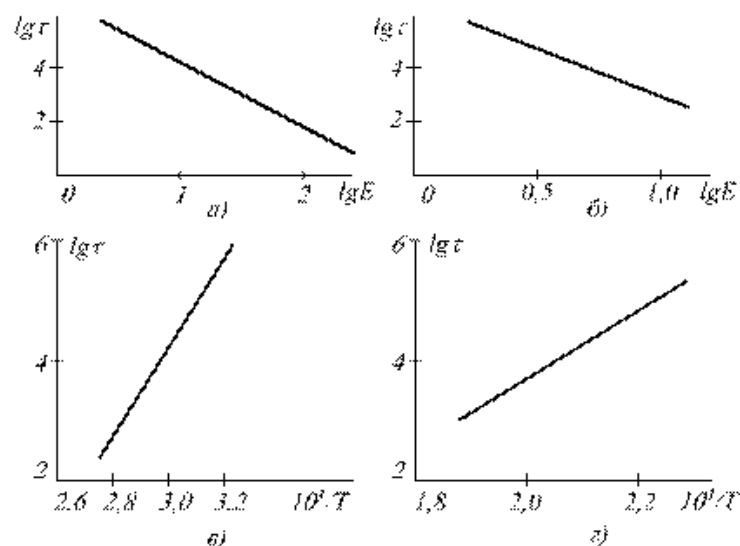


Рисунок 2.6 – Зависимость долговечности от напряженности электрического поля (а, б) и температуры (в, г): а, в – полиэтилен в условиях дробных разрядов при переменном напряжении частот 50Гц; б, г – рутиловая; керамика Т-80 при постоянном напряжении; τ измеряется в с.

Электрическому старению подвержены в основном органические диэлектрики (полимеры). Механизмы электродеградации в этих классах диэлектриков различны, но некоторые экспериментальные характеристики, описывающие старение, имеют общие черты.

Основной причиной старения полимерных диэлектриков в переменном поле являются частичные разряды, возникающие в воздушных включениях. Более интенсивное старение в интервале напряженностей поля $E > E^*$, чем при $E < E^*$, вероятно, обусловлено разогревом полимеров до $T > T_{кр}$ за счет энергии частичных разрядов.

2.1 Влияние частичных разрядов на старение полимеров

В качестве еще одного механизма старения полимерных диэлектриков являются частичные разряды. Частичный разряд – это электрический разряд, длительность которого составляет единицы-десятки наносекунд. Частичные разряды появляются в слабом месте диэлектрика (воздушные включения, граница раздела слоев в слоистом диэлектрике, различные дефекты структуры)

под воздействием переменного напряжения и приводят к постепенному развитию дефекта и разрушению изоляции.

Под действием частичных разрядов (ЧР) могут происходить следующие процессы:

1. Образование газообразных продуктов ионизации - озона, окислов углерода, окислов азота, паров воды и др.

2. Химическое разрушение диэлектрика под действием продуктов ионизации, сопровождаемое разрывом химических связей, образованием свободных радикалов, появлением поперечных связей (сшиванием) между макромолекулами, образованием новых групп (карбоксильные, эфирные) в составе макромолекул полимера, а также углерода и др. Эти изменения прослеживаются с помощью ИК-спектроскопии.

3. Непосредственное воздействие на диэлектрик бомбардировки ионами и электронами, действие излучения, образуемыми при ЧР.

5. Повышение локальной напряженности электрического поля и температуры, возникающие в зоне ЧР.

6. Эрозия диэлектрика, ведущая к уменьшению его веса и толщины.

Указанные факторы вызывают изменение свойств диэлектрика, определяют механизм его старения и приводят к снижению напряжения начала ионизации. Роль тех или иных факторов может быть различной в каждом конкретном случае случаев в зависимости от вида диэлектрика и условий испытаний. [2]

Основной причиной старения полимерных диэлектриков в переменном поле являются частичные разряды, возникающие в воздушных включениях. Более интенсивное старение в интервале напряженностей поля $E > E^*$, чем при $E < E^*$, вероятно, обусловлено разогревом полимеров до $t > t_{кр}$ за счет энергии частичных разрядов.

3 Теоретические представления о механизме электрического старения

В соответствии с формулами, для получения достаточно достоверных результатов определялись средние значения времени жизни $\tau_{\text{ср}}$ не менее чем из 15-20 отдельных измерений τ при данных E и t и по этим значениям строились графики зависимостей $\tau_{\text{ср}} = f(E, t, f)$. В дальнейшем $\tau_{\text{ср}}$ будет обозначаться буквой τ без индекса «ср».

Одной из основных задач изучения зависимостей $\tau = f(E)$, $\tau = f(t)$, $\tau = f(f)$ является установление эмпирических соотношений, описывающих эти зависимости и позволяющих достаточно достоверно рассчитать время жизни диэлектрика при заданном режиме испытаний или эксплуатации. Для полимерных диэлектриков в опубликованных работах [2, с.15] приводятся два эмпирических соотношения, характеризующих зависимость $\tau = \tau(E)$:

$$\tau = BE^m \quad (3.1)$$

$$\tau = Ae^{-bE} \quad (3.2)$$

Для того чтобы определить, которое из этих соотношений является правильным, необходимо воспользоваться методом выравнивания [2] при обработке экспериментальных данных. С этой целью прологарифмируем соотношения (3.1) и (3.2):

$$\lg \tau = \lg B - m \lg E;$$

$$\lg \tau = \lg A - bE \lg e. \quad (3.3)$$

Из полученных выражений видно, что зависимость $\tau = \tau(E)$ должна описываться степенным соотношением (3.1), если экспериментальные значения τ при разных E укладываются на прямую линию $\lg \tau = \tau(\lg E)$, а соотношение (3.2) может быть использовано в том случае, когда опытные величины τ дают прямую линию на графике $\lg \tau = \tau(E)$.

Результаты такой проверки для некоторых пленочных полимерных диэлектриков представлены на рис. 2.1 и 2.2. Видно, что зависимости $\lg \tau = \tau(E)$ имеют криволинейный характер (рис. 2.1, б и 2.2, б) и следовательно (2.1) не может быть использовано в качестве эмпирического соотношения, характеризующего связь между T и E . В то же время, зависимости $\lg \tau = \tau(\lg E)$ изображаются или прямыми линиями (рис. 2.1, а), или прямыми линиями с изломом при $E = E^*$ (рис. 2.2, а). Отсюда видно, что зависимость $\tau = \tau(E)$ правильно характеризуется эмпирическим соотношением (3.1) или, при наличии излома, соотношением:

$$\tau = B_i E^{m_i}, i = 1; 2, \quad (3.4)$$

где, B_1, m_1 относятся к интервалу $E < E^*$ ($\tau > \tau^*$), а B_2, m_2 — к участку $E > E^*$ ($\tau < \tau^*$). Аналогичные результаты получены также для рутиловой керамики Т-80 и для тонких слоев алунда (рис. 2.3).

Значения коэффициентов m для ряда диэлектриков, подвергавшихся испытаниям на старение в различных режимах, приведены в таблицах. Эти значения определены по экспериментальным данным с помощью соотношения (3.5): величина m равна тангенсу угла наклона прямой $\lg \tau = \tau(\lg E)$ к оси абсцисс, т. е. $m = \Delta \lg \tau / \Delta \lg E$.

Время развития электрохимических процессов при старении, т. е. время, проходящее между включением напряжения и разрушением диэлектрика в электрическом поле, принято называть долговечностью диэлектрика или сроком службы (иногда — временем жизни) τ_d . Как и при других формах пробоя, τ_d оказывается тем меньше, чем выше величина электрической.

Известно, что для многих физических величин существует экспоненциальная зависимость $\tau = \tau(T)$. Поэтому важно было проверить, можно ли зависимость $\tau = \tau(T)$ выразить с помощью эмпирического соотношения:

$$\tau = \tau_0 \times e^{\frac{\Delta w}{kT}} \quad (3.5)$$

где, τ_0 — предэкспоненциальный множитель; Δw — энергия активации; k — постоянная Больцмана; T — температура, $^{\circ}\text{K}$.

Результаты испытаний для ряда диэлектриков представлены на рисунках 2.1, 2.2.

Было показано, что время до пробоя изоляции зависят от рассмотренных факторов и может быть описано различными эмпирическими уравнениями которые позволяют связать время до пробоя с влиянием различных воздействующих факторов, однако эти уравнения имеют различные постоянные которые требуют специально поставленных опытов для их определения не могут быть рассмотрены на все виды изоляции. Кроме того эти уравнения дают только общий характер изменения времени до пробоя, но не объясняют механизма разрушения изоляции. Поэтому более удобнее проводить анализ и обработку на основе термофлуктуационной теории. Тем более, что здесь можно говорить о причине отказа за счет разрыва химической связи, что не дают предыдущие уравнения.

4 Уравнение кривой жизни на основе термофлуктуационной теории

В 1952 году в лаборатории физики прочности ФТИ им. А. Ф. Иоффе под руководством С. Н. Журкова были организованы систематические исследования температурно – временной зависимости прочности твердых тел.

Согласно кинетической термофлуктуационной теории С.Н. Журкова, разрушение материала происходит из-за разрыва химических связей, который вызывается совместным действием энергии теплового движения молекул и какой-то внешней силы (механической нагрузки, напряженности электрического поля и др.). Непосредственно разрыв химической связи, ослабленной действием внешних нагрузок, происходит благодаря флуктуации кинетической энергии теплового колебательного движения атомов или молекул. На возможность использования термофлуктуационной теории С.Н. Журкова для оценки времени до пробоя полимерных диэлектриков указывается в работах [7-10]. В [11], опираясь на термофлуктуационную теорию, В.С.

Дмитревским было получено уравнение кривой жизни применительно к полимерным диэлектрикам:

$$\tau = \tau_0 e^{\frac{D \cdot \varphi(x)}{2KT}}, \quad (4.1)$$

где, τ_0 – постоянная времени;

D – энергия разрыва химической связи;

$\varphi(x)$ – функция от действующих нагрузок (x), вызывающих уменьшение потенциального барьера:

$$\varphi(x) = \sqrt{1-2x} - x \ln \left[\frac{1}{x} + \frac{1}{x} \sqrt{1-2x} - 1 \right], \quad (4.2)$$

$$x = \frac{1}{D} \sqrt{(Ae^{-bT} \beta \eta E)^2 + (\gamma \sigma)^2}. \quad (4.3)$$

Здесь, A, γ, b – параметры уравнения, требующие предварительного определения;

η – коэффициент, учитывающей повышения напряженности электрического поля за счет формы электродов;

β – коэффициент, учитывающей повышения напряженности электрического поля за счет неоднородности структуры материала диэлектрика;

σ – механическая нагрузка, [Н/м];

E – напряженность приложенного электрического поля, [В/м];

b – коэффициент, учитывающий изменение модуля упругости материала с температурой. [3, с.130]

Также известно, что взаимодействие атомов друг с другом может быть описана графиком:

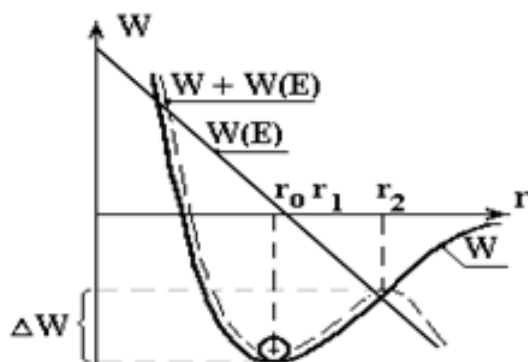


Рисунок 4.1 – Зависимость энергии взаимодействия атомов от расстояния между электродами

Здесь W – энергия взаимодействия атомов;

$(r_0=r_1)$ – расстояние между атомами, соответствующее минимуму потенциальной энергии, где силы взаимодействия (притяжения и отталкивания) равны;

ΔW – высота потенциального барьера, который необходимо преодолеть атому при разрыве химической связи с учетом воздействия нагрузки E .

За счет воздействия внешнего поля E кривая энергии взаимодействия искажается и приобретает вид кривой $[W + W_I(E)]$. При этом высота потенциального барьера уменьшается.

Если учесть воздействие окружающих атомов, то высота потенциального барьера будет еще ниже. Следует отметить, что в любом случае высота этого потенциального барьера достаточно велика, чтобы атом мог получить такую энергию только от одного электрического поля. Такую энергию атом может получить только в результате тепловых колебаний (флуктуаций).

Если принять, что энергия разрыва химической связи D соответствует высоте потенциальной ямы, то

$$\Delta W = D \cdot \varphi(x), \quad (4.4)$$

где $\varphi(x)$, функция, описывающая изменение глубины потенциального барьера от величины и вида воздействующих нагрузок. [3, с.129]

Выводы из литературного обзора

Видно из литературного обзора, что нет данных о полипропиленовой изоляции. Поэтому надо провести эксперименты, для того чтобы определить закономерности старения полипропиленовой (ПП) изоляции. Исследовать зависимость времени до пробоя от разных факторов (температура, напряженность поля). Это нужно для того чтобы выявить закономерности и какими уравнениями эти закономерности можно описать. Также, получить соответствующие результат влияние различных факторов на изоляцию из полипропилена и показать, что закономерности можно описать термофлуктуационной теорией, которую можно использовать как рабочую модель для оценки времени до пробоя.

Задачи данной работы:

1. Оценить влияние температуры на время до пробоя изоляции;
2. Оценить влияние напряженности поля на время до пробоя изоляции;
3. Провести анализ полученных результатов с позиции термофлуктуационной теории разрушения изоляции.
4. На основе полученных данных разработать рекомендации по определению отказа полипропиленовой изоляции.

2 ГЛАВА. Методическая часть

2.1 Выбор испытательной установки

Для испытаний диэлектриков на постоянном токе используют схему (см. рисунок 2.1.1), когда в цепь высокого напряжения включают дополнительно выпрямительное устройство. Для выпрямления используются высоковольтные двухэлектродные лампы – кенотроны или полупроводниковые диоды. Конденсатор C , включенный параллельно, служит для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения. Хотя нормами допускается пульсация, не превышающая 0,05 амплитудного значения, применяемые выпрямительные схемы обеспечивают более низкий уровень пульсаций. Выпрямительное устройство ВУ может выполняться по схеме однополупериодного или двухполупериодного выпрямления, а в некоторых случаях по схеме умножения выпрямленного напряжения.

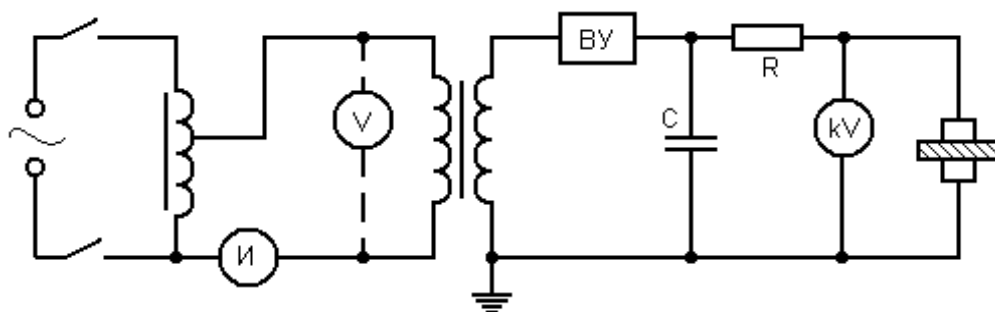


Рисунок 2.1.1 – Принципиальная схема установки для измерения $U_{пр}$ на постоянном напряжении

Напряжение при пробое измеряют обычно на стороне высшего напряжения при помощи электростатического киловольтметра или шарового разрядника. Напряжение можно измерять и на стороне низшего напряжения вольтметром, отградуированным по шаровому разряднику, включенному параллельно образцу. Градуировку желательно производить в установившемся режиме выпрямительной установки и при включенном образце.

Для высоковольтных электротехнических конструкций, работающих на переменном напряжении, наибольший интерес представляет рассмотрение методов испытания диэлектриков на пробой на переменном напряжении, что послужило основой выбора испытательной установки.

Измерение $U_{пр}$ производят с помощью испытательных установок (рисунок 2.1.2), содержащих устройство 1 для плавного регулирования напряжения, испытательный трансформатор 2 для повышения напряжения, камеру 5, в которую помещается испытуемый образец 3 с электродами, и другие элементы. Регулирование напряжения должно быть плавным, так чтобы изменения (скачки) его не превышали 0,005 номинального напряжения трансформатора. Рекомендуется повышать напряжение автоматически. Мощность испытательной установки должна быть достаточной для того, чтобы установившийся ток короткого замыкания (действующий) на стороне высокого напряжения был не менее 40 мА при испытании жидких диэлектриков. Первичная цепь трансформатора снабжается выключателем 6, автоматически срабатывающим при пробое образца, и сигнальной лампой 4.

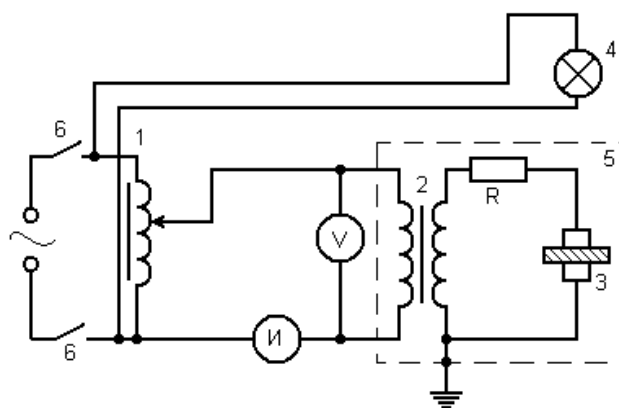


Рисунок 2.1.2 – Принципиальная схема для измерения $U_{пр}$ на переменном напряжении

Установка должна быть снабжена устройством для плавного повышения напряжения при определении электрической прочности. Источник питания установки, регулирующее устройство и трансформатор должны обеспечивать на образце синусоидальную форму кривой напряжения; коэффициент

амплитуды (отношение максимального значения к действующему) испытательного напряжения должен быть в пределах 1,34 – 1,48. Частота должна составлять 50 Гц; допускается отклонение $\pm 0,5$ Гц. Кроме того, регулировочное устройство должно обладать достаточной мощностью, простотой и эксплуатационной надёжностью.

В момент пробоя в образце протекает ток короткого замыкания, вызывающий значительную перегрузку трансформатора. Для защиты последнего в цепи низкого напряжения предусматривается автоматическое устройство, отключающее питание после пробоя. Время срабатывания такого устройства не должно превышать 0,02 с.

Особенно важно быстро отключить напряжение при испытаниях жидких материалов, так как в некоторых из них после первого пробоя образуются продукты разложения, существенно снижающие пробивное напряжение жидкости при последующих пробоях.

2.2 Выбор образцов и электродов для испытания на пробой и требования, предъявляемые к ним

При определении электрической прочности диэлектриков чаще используют систему электродов и форму образцов, создающих однородное электрическое поле. В этих условиях пробивная напряженность является мерой электрической прочности диэлектрика, являющейся определенной физической характеристикой вещества. При неоднородном электрическом поле процесс пробоя протекает намного сложнее, и пробивное напряжение данного образца диэлектрика значительно труднее связать с его электрической прочностью.

Требования, предъявляемые к форме образцов и электродов.

Определение E_{np} в направлении, перпендикулярном к поверхности или слоям (для слоистых материалов), производят на плоских, фасонных, трубчатых и ленточных образцах (рисунок 2.2.1). Плоские образцы должны иметь диаметр 25 – 150 мм, для квадратных образцов эти размеры относятся к

стороне квадрата. Трубчатые образцы могут иметь длину 100 – 300 мм. На диаметр трубки ограничений не налагается. Форма и размеры (указанные выше) оговариваются в стандарте на материал. Если размер не оговаривается, то следует использовать наибольший размер. В тех случаях, когда толщина образцов не позволяет определить электрическую прочность в направлении, перпендикулярном к поверхности, применяют фасонные образцы (рисунок 2.2.1 – б и г)

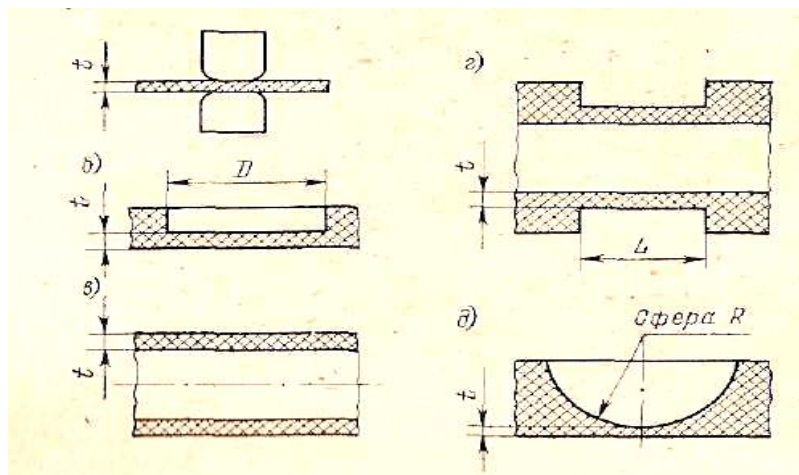


Рисунок 2.2.1 – Образцы твердых изоляционных материалов:

а – плоский; б – плоский с цилиндрической выточкой; в – трубчатый;
г – трубчатый с проточкой; д – плоский со сферической выточкой

При использовании ленточных материалов в качестве образца берется отрезок ленты шириной 15 – 35 мм, длину отрезка ленты выбирают в соответствии с длиной полоскового электрода.

Во всех случаях размеры образцов должны быть до испытаний измерены. Погрешность измерения толщины t не должна превышать $\pm (0,01t + 0,002)$ мм. Разброс по толщине образца не должен быть больше 2% при $t \geq 0,5$ мм и 5% при $t < 0,5$ мм.

Число образцов должно быть не менее десяти.

Электроды для испытаний твердых диэлектриков должны удовлетворять общим требованиям:

1. Электрод должен обладать высокой проводимостью и обеспечивать хороший электрический контакт по всей поверхности соприкосновения с образцом без воздушных прослоек между ними.

2. В условиях испытания электрод не должен влиять на испытуемый образец (деформировать его, оказывать химическое воздействие).

3. Электрод не должен изменять свою форму и размеры, а также претерпевать какие – либо физические или химические изменения в процессе испытания (плавиться, окисляться и т. п.).

4. Электрод должен быть таким, чтобы его было легко наносить и удобно применять при испытаниях.

При определении E_{np} могут применяться массивные металлические электроды, пленочные (осажденные путем распыления или вжигания) и графитовые. Во всех случаях необходимо обеспечить хороший контакт электрода с испытуемым образцом.

Материалы некоторых применяемых электродов и способы создания контактов с образцом указаны в таблице 1. (по ГОСТ 6433.3 – 71).

Таблица 1 – Электроды, применяемые для определения электрической прочности

Материал электрода	Способ создания контакта с образцом	Вид испытуемых материалов
Нержавеющая сталь, цветные (медь, латунь) или благородные (серебро, золото) металлы	Нажатие давлением. Значение давления указывается в стандарте на материал; если давление не указано, оно должно быть 10 кПа	Все твердые материалы

Отожженная алюминиевая, оловянная, свинцовая фольга толщиной 0,005 – 0,02 мм	Притирание с помощью тонкого слоя вазелина, трансформаторного, конденсаторного или вазелинового масла, кремнеорганической жидкости, смазки или другого аналогичного материала	Все твердые материалы, на которые указанные масла и жидкости не влияют
Серебро, платина, золото, медь, алюминий	Нанесение распылением в вакууме	Материалы, которые при данном способе нанесения электродов не изменяют своих свойств
Суспензия коллоидного графита в дистиллированной воде	Нанесение кистью с последующей сушкой на воздухе	Непористые материалы
Суспензия графита в лаке (эпоксидном, шеллачном, цапоне и т. д.)	Напыление струей воздуха. Нанесение кистью	Все твердые материалы, на свойства которых не влияет растворитель, содержащийся в лаке
Порошок графита	Засыпка	Трубки
Водопроводная вода	Погружение или заливка	Трубки водостойкие

Изучение зависимостей времени жизни τ от напряженности электрического поля E , частоты f и температуры t , а также кратковременного пробивного напряжения $U_{пр}$ от времени t затруднено наличием большого разброса значений τ или $U_{пр}$ при одних и тех же условиях испытаний. Кроме того, испытания по определению τ являются весьма длительными, а значения τ и $U_{пр}$ могут зависеть от конструкции испытуемых образцов. С учетом этих обстоятельств методика определения τ и $U_{пр}$ должна удовлетворять следующим требованиям: 1) для получения достоверных результатов необходимо проводить большое количество опытов по измерению τ или $U_{пр}$ с последующей статистической обработкой данных; 2) для сокращения времени испытаний требуется, чтобы испытательная конструкция была простой в изготовлении и обеспечивала одновременную или отдельную подачу напряжения па

электроды нескольких десятков или сотен образцов; 3) целесообразно использовать несколько различных конструкций образцов, включая на определенных этапах исследования и макеты промышленных изделий, с тем чтобы всесторонне выяснить влияние различных факторов на значения τ и $U_{пр}$.

При изучении закономерностей электрического старения полимерных пленок наиболее удобными оказались две конструкции электродов [4, 5]:

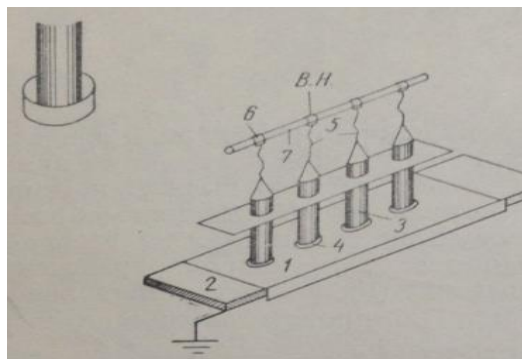


Рисунок 2.2.2 – Испытательная конструкция с плоским заземленным электродом

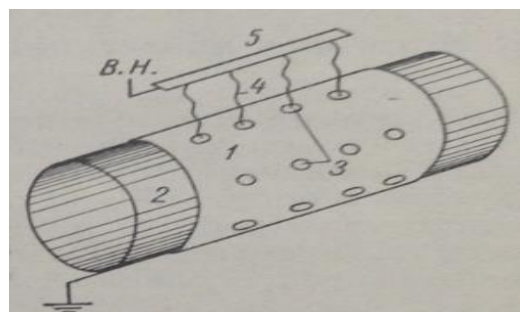


Рисунок 2.2.3 – Испытательная конструкция с цилиндрическим заземленным электродом

а) Полимерная пленка 1 слегка натягивалась на плоский никелевый электрод 2, который при проведении испытаний имел потенциал земли (рис. 2.2.2). К поверхности пленки с помощью стальных цилиндрических грузиков 3 весом около 5 г прижималось до тридцати и более никелевых электродов 4 в виде цилиндрических стаканчиков диаметром приблизительно 5 мм. К грузикам прикреплялись никелевые проволочки – предохранители 5, которые в

свою очередь соединялись с зажимами 6, укрепленными на керамических или стеклянных стержнях 7. Высокое напряжение могло подаваться электроды в отдельности, либо одновременно на все электроды.

б) Один или несколько слоев полимерной пленки 1 наматывается на никелевый цилиндр 2 диаметром от 20 до 200мм (рис. 2.2.3), который находился при потенциале земли. К наружной поверхности испытуемого полимера прижимались с помощью дополнительного слоя пленки с отверстиями дисковые никелевые или фольговые электроды 3 диаметром 2мм (иногда до 50мм), так что электроды оказывались против отверстий в пленке. К дисковым электродам были приварены никелевые проволоочки – предохранители 4, которые пропускались через отверстия в пленке и закреплялись на никелевой пластинке 5, подключаемой к источнику высокого напряжения.

При пробое пленки под одним из электродов как в случае а), так и в случае б) перегорал соответствующий предохранитель, и этот электрод отключался от источника высокого напряжения.

Дополнительные сведения о методике испытаний приведены в работе [6].

2.3 Описание выбранной экспериментальной установки и порядок работы на установке

Для проведения испытаний на пробой используют типовые промышленные пробивные установки, электрическая схема которых приведена на рис.2.3.1.

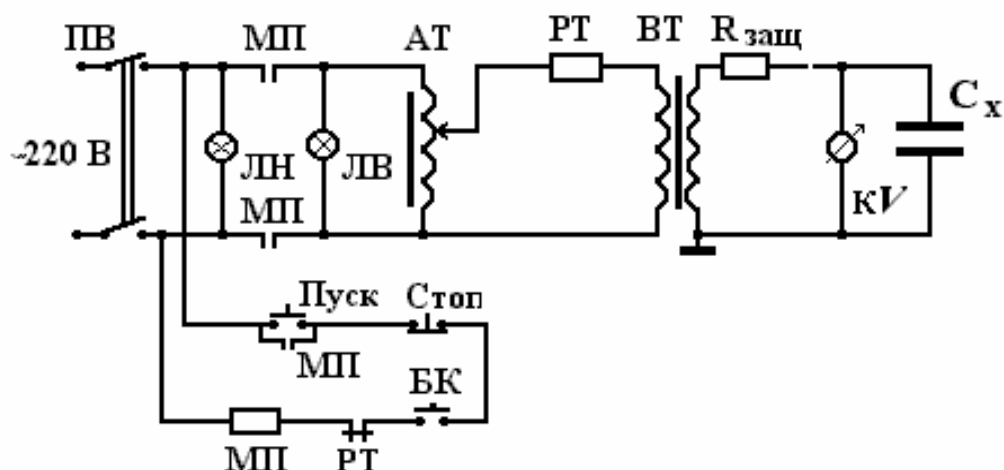


Рисунок 2.3.1 – Принципиальная электрическая схема установки для испытания диэлектриков на пробой

БК – блокировочные контакты двери;

ПВ₁ – пакетный выключатель;

ЛН, ЛВ – сигнальные лампы «низкого» и «высокого» напряжения;

V₁, V₂ – контрольные вольтметры для измерения напряжения;

АТ, ВТ – соответственно автотрансформатор и высоковольтный трансформатор;

R_{защ} – защитное (токоограничивающее) сопротивление;

МП – соответственно контакты и обмотка магнитного пускателя;

R_{макс} – соответственно контакты и обмотка реле максимального тока.

При пробое образца диэлектрика – C_x, во вторичной и первичной обмотках высоковольтного трансформатора возникает бросок тока, за счёт чего срабатывает реле максимального тока – R_{макс}, которое своим контактом размыкает цепь питания магнитного пускателя – МП.

За счёт этого происходит размыкание его нормально разомкнутых контактов и размыкается цепь подачи напряжения на автотрансформатор и первичную обмотку высоковольтного трансформатора.

Поскольку при изучении зависимости электрической прочности твёрдых диэлектриков от температуры используется термошкаф (печь), в который помещается испытательная ячейка с образцом, то дверца термошкафа в целях электробезопасности снабжается блокировочными контактами – БК. При

открывании дверцы термошкафа эти контакты размыкают цепь питания и, тем самым, также снимают напряжение с высоковольтного трансформатора.

Измерение температуры образца диэлектрика в термошкафу производится термпарным прибором или непосредственно термометром, или внешней термпарой, подсоединённой к милливольтметру.

2.3.1 Порядок выполнения работы

Установить образец в испытательную ячейку и поместить её в термошкаф. Отрегулировать температуру в термошкафу с помощью терморегулятора. Для этого нужно выполнить следующие операции:

- а) установить режим нагрева печи поочередным нажатием сначала кнопки "Пуск" затем кнопки "Стоп" и кнопки "°C" на лицевой панели прибора;
- б) установить необходимую температуру поочередным нажатием либо кнопки "+" и или кнопки "—";
- в) включить режим нагрева печи поочередным нажатием сначала кнопки "Стоп", а затем кнопки "Пуск";
- г) дождаться прогрева печи до заданной температуры, что будет видно на цифровом индикаторе терморегулятора.

- Включить установку пакетным выключателем – ПВ₁. На пульте управления должна загореться сигнальная лампа ЛН "Низкое напряжение".
- Установить рукоятку автотрансформатора в положение "ноль".
- Включить высокое напряжение нажатием кнопки "Пуск". На пульте управления при этом должна загореться сигнальная лампа ЛВ «Высокое напряжение».

- Вращая рукоятку автотрансформатора, плавно повысить напряжение до пробоя образца.

- Зафиксировать по вольтметру или киловольтметру величину пробивного напряжения и установить рукоятку автотрансформатора в исходное положение «ноль».

- Установить терморегулятором другую температуру в термошкафе согласно пункту 2, а затем повторить операции 3-7 при каждой заданной температуре.
- По окончании опыта выключить установку от сети и выключить термошкаф.

2.3.2 Меры по технике безопасности

Использование высоковольтных установок требует строгого соблюдения мер предосторожности. Опасное для жизни значение тока, протекающего через человеческий организм, составляет всего лишь 20 мА. Поэтому во всех высоковольтных установках должны быть приняты меры, исключающие возможность случайного соприкосновения лиц, находящихся около установок, с выводами и проводами высокого напряжения, испытываемыми образцами, измерительными приборами, резисторами и другими элементами высоковольтных цепей [5].

К работе на установках высокого напряжения допускаются лица, прошедшие инструктаж по мерам безопасности и сдавшие зачет.

Испытания на высоковольтных установках разрешаются проводить только в присутствии двух специалистов, один из которых является руководителем работы. До включения высокого напряжения все дверцы и ограждения должны быть плотно закрыты. Напряжение можно включать только с разрешения руководителя.

Производить какие-либо переключения в схеме, менять или поправлять образцы после подачи напряжения категорически запрещается. Для замены образца необходимо выключить напряжение и тщательно заземлить выводы вторичной обмотки высоковольтного трансформатора, а также конденсаторов высокого напряжения, если они имеются в схеме; для этой цели на выводы следует накинуть крюки, соединенные гибкими проводами с заземлением установки; такой крюк снабжается изолированной рукояткой для безопасности

лица, выполняющего заземление. После замены образца или выполнения необходимых переключений с выводов снимают заземляющие крюки (штанги).

Установки высокого напряжения должны иметь предупредительные плакаты, световую сигнализацию, а также комплект изолирующих средств: резиновых ковров, резиновых перчаток и инструмента с изолированными ручками.

За соблюдение правил техники безопасности несут ответственность руководитель испытаний, технический состав лаборатории и учащиеся, выполняющие измерения на высоковольтных установка

2.4 Конкретная методика используемая в работе

Для проведения испытаний на время до пробоя были подготовлены образцы изолированных жил кабеля в виде скрутки двух проводников, как показано на рис. 2.4.1.

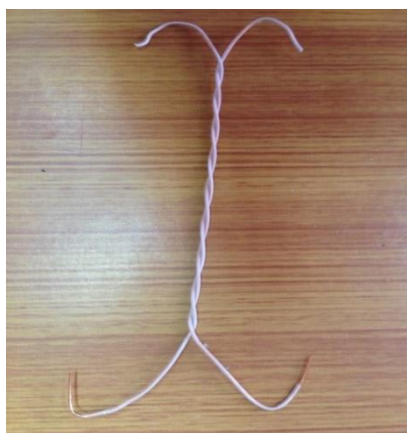


Рисунок 2.4.1 – Образцы изолированных жил кабеля (скрутка)

Старение образцов производилось на установке для пробоя твердых диэлектриков, общий вид которой показан на рис. 2.4.2. Образцы помещались в термошкаф (1) с принудительной внутренней циркуляцией воздуха для выравнивания температуры по объему камеры. Регулировка температуры и длительности нагрева производилась терморегулятором – 2. Градиент

температуры по камере составлял не более 1°C ; погрешность измерения температуры $\pm 1^{\circ}\text{C}$.



Рисунок 2.4.2 – Общий вид установки для пробоя диэлектриков: 1 - термошкаф, 2 - терморегулятор, 3 – счетчик времени старения, 4 – киловольтметр.

Для проведения испытаний на время до пробоя на переменном напряжении промышленной частоты 50 Гц было приготовлено 5 партии по 30, 2 партии по 10 образцов в скрутке. Испытания 4 партий проводились при температуре 130 и 140 $^{\circ}\text{C}$ и приложенном напряжениях 5 кВ и 7 кВ. 3 партии образцов испытывались при температуре 60,80 и 100 $^{\circ}\text{C}$ и напряжении 7 кВ (величина испытательного напряжения принята с учетом результатов моделирования величин электрических напряжений в КЛ при питании от ПЧ) .

Для определения среднего времени до пробоя при высокочастотных электрических нагрузках так же было испытано 5 партии по 30 и 10 образцов в скрутке: 2 партии - при температуре 130 $^{\circ}\text{C}$ и приложенном напряжениях 5 кВ и 7 кВ; 1 партия - при температуре 100 $^{\circ}\text{C}$ и приложенном напряжениях 7 кВ; 2 партии - при температуре 140 $^{\circ}\text{C}$ и напряжениях 5 кВ и 7 кВ.



Рисунок 2.4.3 – образцы в процессе испытаний

Для проведения испытаний был выбран полипропиленовый провод диаметром 1,2 мм.

Соответствуют ТУ 16 – 705 – 264 – 82. Применяются для нефтепогружных насосов. Сечение провода круглое, толщина 0,3 мм.

Материал: Жила – медь;

Изоляция – однослойная, слой состоит из полипропилена.

Отрезки проводов скручивались согласно ГОСТУ Р МЭК 60 851-5-2008 с длиной скрутки 125 мм, скручивались в пару с определенным количеством витков (8).

3. Анализ погрешностей при проведении испытаний

В наших опытах стояла задача получить некоторые закономерности процесса разряда, исходя из длительности приложенного напряжения, вида используемого материала и др. Для определения разрядного напряжения имеет значение не только погрешность эксперимента, но и разброс отдельных значений, который для твердых диэлектриков имеет большую величину.

Причины разброса заключаются в структурной особенности отдельных образцов, наличие слабых мест, пор, в неплотном прилегании электродов к образцу. Известно, что отклонения от идеальных условий в исследуемых

образцах могут только снижать электрическую прочность. Максимальное значение электрической прочности соответствует наиболее совершенному образцу, но максимальные значения по опытным данным сильно отличаются от остальных значений.

3.1 Оценка погрешности измерений

Рассмотрим возможные погрешности в наших экспериментах.

Электроды представляли собой швейные иглы. Их радиус закругления измерялся с помощью горизонтального компаратора ИЗА – 2 с точностью до 0,001 мм. Поэтому относительная ошибка при измерении радиуса электродов равна $\Delta_1=1\%$.

Напряжение, подаваемое на образец, измерялось с помощью киловольтметра С – 196. Погрешность измерения складывается из:

1. погрешности прибора;
2. визуальная ошибка измерения.

Класс точности киловольтметра марки С – 196 1,5% (по техническим данным прибора) $\Delta_2=1,5\%$.

Визуальная ошибка измерения по шкале прибора 0,5 кВ

$$\Delta_3 = \frac{0.5}{15} \cdot 100\% = 8\% \quad (3.1.1)$$

Межэлектродное расстояние измерялось также с помощью горизонтального компаратора ИЗА – 2 с точностью до 0,001 мм. Относительная ошибка при измерении расстояния равна $\Delta_1=1\%$.

3 ГЛАВА. Экспериментальная часть

В 1 главе при анализе литературных данных было показано, что в результате длительного воздействия электрического поля, особенно при повышенной температуре, диэлектрики (электрическая изоляция) постепенно ухудшают основные свои свойства – происходит электрическое старение, завершающееся, в конечном счете, пробоем диэлектрика (выходом изоляции или диэлектрической детали из строя).

Изучение причин, вызывающих электрическое старение изоляции, и закономерностей старения (зависимости времени жизни диэлектрика от напряженности поля и температуры, при которых происходит его эксплуатация) является необходимым условием для выработки научно обоснованных и достаточно достоверных методов расчета электротехнических конструкций на надежность.

К таким конструкциям относятся и кабели, применяемые для питания погружных насосов в нефтяных скважинах.

В качестве исследуемых объектов были выбраны кабели марки КППБК с изоляцией из блоксополимера этилена с полипропиленом, рассчитанные на длительную работу при температурах порядка 120 - 140 °С.

Для проведения испытаний были взяты изолированные жилы кабеля с толщиной изоляции 0,3 мм.

3.1 Определение кратковременного пробивного напряжения

Для оценки кратковременного пробивного напряжения, образцы испытываются на пробивное напряжение при переменном токе частоты 50 Гц в воде, на высоковольтной установке, приведенной на рис.3.1.1 в соответствии с ГОСТ 2990-78. Были взяты 10 шт образцов. Затем проводились испытания на определение кратковременного пробивного напряжения (рис.3.1.1).

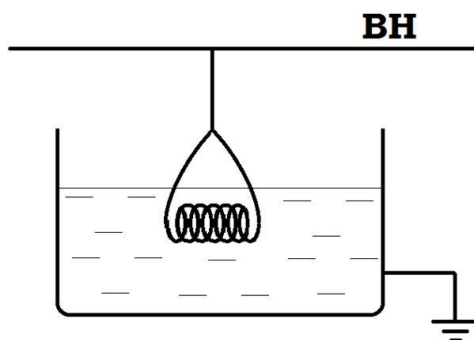


Рисунок 3.1.1 – Определение кратковременного пробивного напряжения изоляции образцов проводов

Результаты испытаний на пробивное напряжение образцов проводов с полипропиленовой изоляцией приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний на пробивное напряжение в исходном состоянии и после воздействия температуры 20 °С

№	Пробивное напряжение полипропиленовой изоляции (среднее значение), кВ
1	14
2	10,5
3	7,5
4	8,2
5	11,5
6	12,5
7	11,5
8	10,4
9	12
10	8,1
Средняя:	10,6

Полученные результаты по изменению пробивного напряжения образцов проводов с полипропиленовой изоляцией позволяют определить среднее кратковременное пробивное напряжение, равное 10,6 кВ.

Таким образом, выбор испытательного напряжения рассчитали в виде:

С вероятностью 90 %: $10,6 * 0,9 = 9,54$ кВ;

С вероятностью 80 %: $10,6 * 0,8 = 8,48$ кВ;

С вероятностью 70 %: $10,6 * 0,7 = 7,42$ кВ;

С вероятностью 60 %: $10,6 * 0,65 = 6,9$ кВ;

С вероятностью 50 %: $10,6 * 0,5 = 5,3$ кВ;

В результате для проведения испытаний на длительную прочность берем величины испытательного напряжения 7 и 5 кВ, соответствующие вероятностям 65 и 50%, учитывая снижения пробивного напряжения в процессе старения.

3.2 Выбор испытательной напряженности электрического поля и температур

Поскольку в качестве образцов использовалась система электродов провод-провод, то напряженность электрического поля будет отличаться от напряженности равномерного поля. Для расчета напряженности электрического поля в указанной системе электродов использовалась программа COMSOL Multiphysics. Результаты расчета представлены на рисунке 3.2.1.

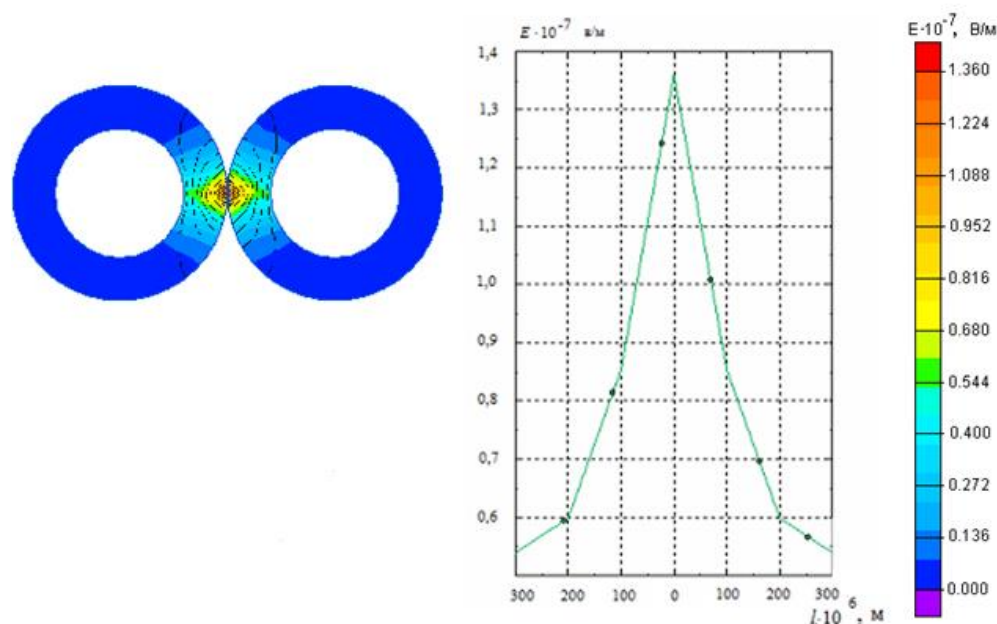


Рисунок 3.2.1 – картина электрического поля и график распределения напряженности поля по толщине изоляции образцов при испытательном напряжении 5 кВ, 50 Гц

Как видно из приведенного рис.3.2. при испытательном напряжении 5кВ максимальная напряженность электрического поля равна $E_1=1,25 \cdot 10^7$ В/м и имеет место в средней части в точке касания изоляции проводов, что соответствует условию $E = \frac{dU}{dl}$, т.е. где наибольший угол касательной к кривой распределения напряжения.

Согласно расчетам при испытательном напряжении 7 кВ максимальная напряженность электрического поля равна $E_2=1,9 \cdot 10^7$ В/м.

Если принять, что в образцах между проводами действует однородное электрическое поле, то напряженность электрического поля будет равна

$$E = \frac{5000}{0,6 \cdot 10^{-3}} = 0,8 \cdot 10^7 \text{ В/м.} \quad (3.2.1)$$

Как видно действующая локальная напряженность электрического поля превышает среднюю для равномерного поля.

В качестве испытательных температур, при которых производилось электрическое старение, были выбраны температуры $T=100, 130$ и 140 °С с учетом действующих температур в скважине по просьбе заказчиков АО «Сибкабель».

3.3 Описание полученных результатов исследования зависимости времени до пробоя от Т и Е

Для оценки влияния температуры на время до пробоя, были выбраны два уровня напряжения, создающие напряженности электрического поля, равные $E_1=1,25 \cdot 10^7$ и $E_2= 1,9 \cdot 10^7$ В/м.

В таблице приведены значения среднего времени до пробоя, полученные в результате испытания 30 образцов в партии. Значения времени до пробоя всех образцов приведены в таблице приложения.

Таблица 3 – Среднее время пробоя при $U = 5$ и 7 кВ

$E1=1,25 \cdot 10^7$ В/м		$E2= 1,9 \cdot 10^7$ В/м	
$T=130$ °С	$T=140$ °С	$T=130$ °С	$T=140$ °С
$\tau_{cp}= 1,628 \times 10^5$	$\tau_{cp}= 9,15 \times 10^4$	$\tau_{cp}= 1,029 \times 10^5$	$\tau_{cp}= 6,521 \times 10^4$

На рисунка 3.3.1 приведен график распределения времен до пробоя при различных температурах и напряженностях приложенного поля.

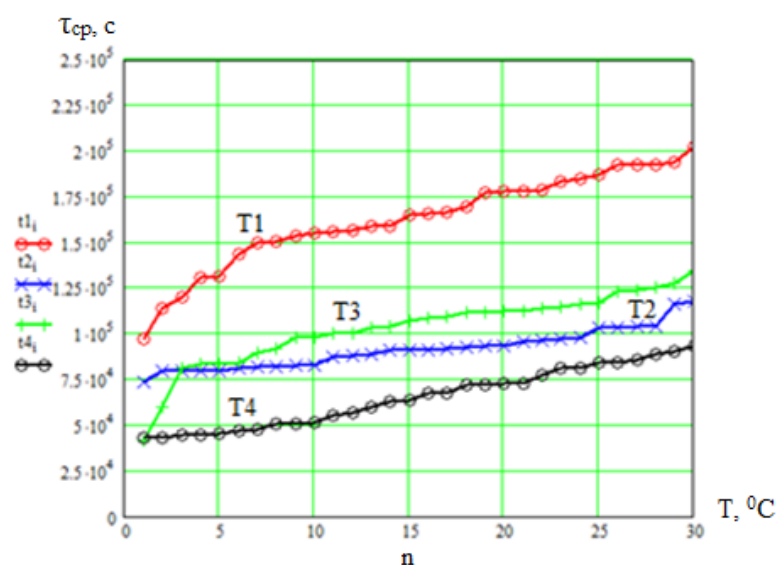


Рисунок 3.3.1 – кривые распределения времени до пробоя при разных напряжениях при одинаковой температуре $T= 130$ и $T= 140$ °С

Здесь, $T1= 130$ °С при напряженности поля $E1$, $T2= 140$ °С при напряженности поля $E1$, $T3= 130$ °С при напряженности поля $E2$, $T4= 140$ °С при напряженности поля $E2$.

Таблица 4 – Среднее время пробоя при $U = 7$ кВ

$E2= 1,9 \cdot 10^7$ В/м				
$T=60$ °С	$T=80$ °С	$T=100$ °С	$T=130$ °С	$T=140$ °С
$\tau_{cp}= 7,94 \times 10^4$	$\tau_{cp}= 9,577 \times 10^4$	$\tau_{cp}= 1,314 \times 10^5$	$\tau_{cp}= 1,029 \times 10^5$	$\tau_{cp}= 6,521 \times 10^4$

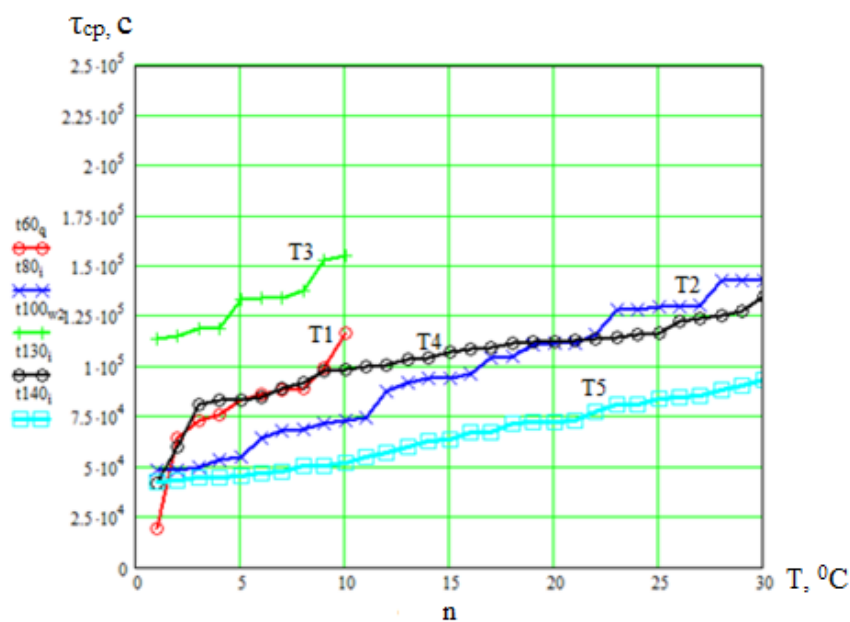


Рисунок 3.3.2 – кривые распределения времени до пробоя при одинаковых напряжениях, разных температурах

Здесь, $T_1 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_3 = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_4 = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $T_5 = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$ при напряженности поля E2.

Из приведенных рисунка 3.3.2 видно, что с ростом приложенного напряжения кривая распределения времен до пробоя лежит ниже. Аналогичное воздействие оказывает увеличение температуры старения. Это согласуется с литературными данным, изложенным в главе 1. Можно предположить, что такое изменение времени до пробоя связано с процессом старения, которое может приводить к ухудшению характеристик материала изоляции.

Для оценки этого нами проводилось измерение емкости (C) и $\text{tg}\delta$ до старения и после пробоя. Данные приведены в таблице 3.3.3.

Таблица 5 – изменения C и $\text{tg}\delta$ при температурах $T=100$ и $T=60$ °C до и после пробоя

№	T=100 °C до пробоя		T=100 °C после пробоя		T=60 °C до пробоя		T=60 °C после пробоя	
	$\text{tg}\delta$	C, pF	$\text{tg}\delta$	C, pF	$\text{tg}\delta$	C, pF	$\text{tg}\delta$	C, pF
1	0,146	5,149	0,139	4,686	0,136	5,352	0,083	3,947
2	0,257	5,351	0,166	4,943	0,086	5,273	0,07	3,758
3	0,41	5,379	0,089	5,068	0,19	5,158	0,186	3,237
4	0,107	5,255	0,058	4,932	0,024	4,949	0,023	3,245
5	0,033	5,07	0,08	4,879	0,025	5,344	0,041	3,571
6	0,469	5,332	0,149	4,875	0,042	5,374	0,075	3,672
7	0,082	5,118	0,065	4,811	0,068	5,256	0,013	3,348
8	0,191	4,854	0,189	5,581	0,078	5,72	0,021	3,898
9	0,1	5,221	0,085	4,758	0,031	5,517	0,024	3,642
10	0,03	4,795	0,214	4,374	0,023	5,759	0,045	3,851
ср.время	0,146	5,152	0,123	4,791	0,07	3,583	0,258	3,583

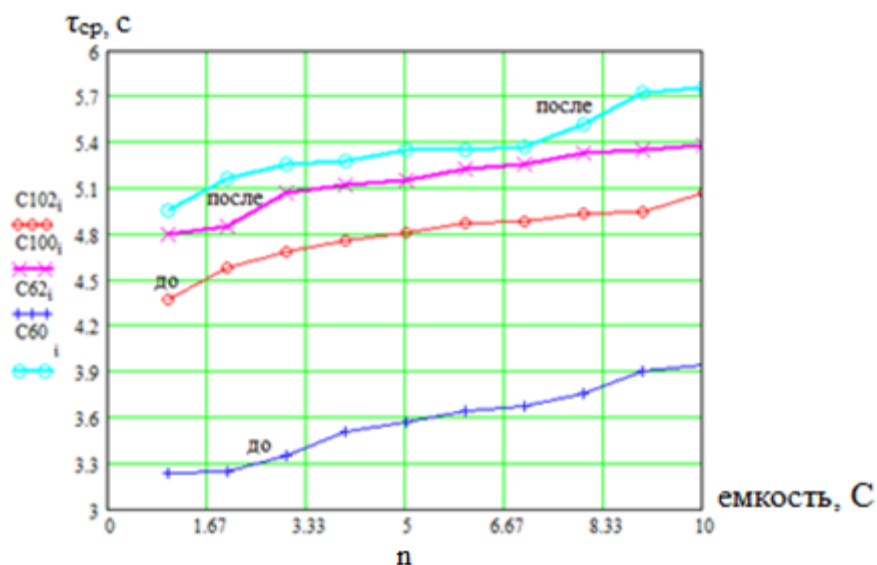


Рисунок 3.3.3 – кривые распределения значения C полученных до испытаний и после пробоя

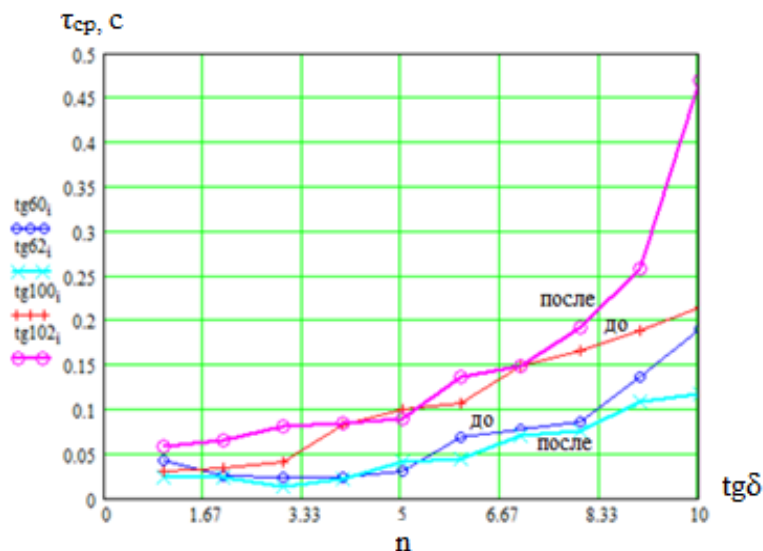


Рисунок 3.3.4 – кривые распределения значения $\text{tg}\delta$ полученных до испытаний и после пробоя

Исходя из полученных данных, были построены графики зависимости средних значений $\text{tg}\delta_{\text{ср}}$ и $C_{\text{ср}}$ до старения и после старения, при двух температурах. Из приведенных рисунков можно отметить тенденцию к увеличению значения $\text{tg}\delta$ после старения, что косвенно свидетельствует о процессе старения, за счет чего $\text{tg}\delta$ возрастает.

Изменение емкости отображает процесс старения косвенно за счет изменения ϵ . Входящего в формулу расчета емкости $C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$. В качестве дополнительного момента, характеризующего старения изоляции, может служить изменение цвета (потемнее) поверхности изоляции проводов.

3.4 Анализ и обсуждение полученных результатов

Из литературного обзора мы показали, что полученные нами зависимости могут быть описаны на основе эмпирических соотношений, различных уравнений, теории и также могут быть объяснены на основе термофлуктуационной теории.

Оценки зависимости времени до пробоя производилась на основе термофлуктуационной теории. Согласно которой в качестве механизма разрушения принимает разрыв химической связи под действием энергии тепловых колебаний молекул. Если принять, что энергия разрыва химической связи D соответствует высоте потенциальной ямы, то

$$\Delta W = D \cdot \varphi(x), \quad (3.4.1)$$

где: $\varphi(x)$ - функция, описывающая изменение глубины потенциального барьера от величины и вида воздействующих нагрузок.

$$\varphi(x) = \sqrt{1-2x} - x \ln \left[\frac{1}{x} + \frac{1}{x} \sqrt{1-2x} - 1 \right], \text{ где} \quad (3.4.2)$$

$$x = \frac{1}{D} \sqrt{\left(A e^{-bT} \beta \eta E \right)^2 + (\gamma \sigma)^2}, \quad (3.4.3)$$

Здесь:

A, γ - структурно чувствительные коэффициенты;

ν - коэффициент, учитывающий изменение модуля упругости материала с температурой;

E - напряженность электрического поля, [В];

σ - механическая нагрузка, [Н/м];

T - температура, [$^{\circ}$ К];

η - коэффициент, учитывающей повышение напряженности электрического поля за счет формы электродов;

β - коэффициент, учитывающий повышение напряженности электрического поля за счет неоднородности структуры.

$$E_{\max} = \eta \beta E_{cp} \quad (3.4.4)$$

С точки зрения термодинамики известно, что $\tau_0 \cong 10^{-13}$ сек, т.е. время перехода атомов из одного равновесного состояния в другое за счет тепловых флуктуаций. Тогда частота тепловых колебаний атомов равна $1/\tau_0$.

Исходя из этого, вероятность разрыва химической связи в единицу времени будет равна

$$q = \frac{1}{\tau_0} e^{-\frac{\Delta W}{2KT}}, \quad (3.4.5)$$

здесь $q^* = e^{-\frac{\Delta W}{2KT}}$ - вероятность перехода через потенциальный барьер при одном колебании.

Заменяя ΔW через энергию связи D , найдем:

$$q = \frac{1}{\tau_0} e^{-\frac{D \cdot \varphi(x)}{2KT}} \quad (3.4.6)$$

Условие для разрыва связи – это наступление достоверного события, тогда согласно теории вероятности – $(q \cdot \tau = 1)$, отсюда время до разрыва 1-ой связи

$$\tau = \tau_0 e^{\frac{D \cdot \varphi(x)}{2KT}} \quad (3.4.7)$$

Из приведенного выражения видно, что время (τ) является функцией параметров $(E, D, T, A, \sigma, \beta, \eta, \tau_0)$, о чем говорилось в самом начале.

Были приняты следующие параметры:

$$A1 := \frac{Z1_1}{\frac{1}{D} \cdot e^{-b1 \cdot T1} \cdot \eta1 \cdot E3 \cdot \beta1} \quad (3.4.8)$$

$$\beta1 := \frac{Z1_1}{\frac{1}{D} \cdot A1 \cdot e^{-b1 \cdot T1} \cdot \eta1 \cdot E3} \quad (3.4.9)$$

$$b1 := \frac{\sum_i b1_i}{n} \quad (3.4.10)$$

$$A1 = 1,77 \cdot 10^{-26}$$

$$\beta1 = 2$$

$$b1 = 9,405 \cdot 10^{-3}$$

$$E1 = 1,25 \cdot 10^7 \text{ [В/м]}$$

$$E3 = 1,9 \cdot 10^7 \text{ [В/м]}$$

Постоянные

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ [Дж/св.град]}$$

$$D = 5,5 \cdot 10^{-19} \text{ [Дж/св]}$$

$$t0 = 1 \cdot 10^{-13}$$

Рассчитаем время до пробоя на основе найденных параметров уравнения надежности. Определим время до пробоя при температуре $T=130^\circ\text{C}$ и напряженности поля $E3$

$$x51 := \frac{1}{D} \cdot A1 \cdot e^{-b1 \cdot T1} \cdot \beta2 \cdot \eta1 \cdot E3 \quad (3.4.11)$$

$$\phi51 := \sqrt{1 - 2 \cdot x51} - x51 \cdot \ln \left(\frac{1}{x51} + \frac{1}{x51} \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot x51} - 1 \right) \quad (3.4.12)$$

$$\tau51 := t0 \cdot \exp \left(\frac{D \cdot \phi51}{2 \cdot k \cdot T1} \right) \quad (3.4.13)$$

Где, $x51 = 0,036$; $\phi51 = 0,82$; $\tau51 = 4,151 \cdot 10^4$

Аналогично определим время до пробоя при температуре $T3$ и напряженности поля $E3$

где, $x52 = 0,033$; $\phi52 = 0,833$; $\tau52 = 2,91 \cdot 10^4$

Построим график зависимость времени до пробоя от температуры при напряженности поля $E3$ по рассчитанным значениям и нанесем точки средних

значений времени до пробоя $\tau_{ср130}$ и $\tau_{ср140}$ по данным эксперимента и для сравнения точки времени до пробоя τ_{51} и τ_{52} , полученные расчетным путем при температуре T_1 и напряженности поля E_3

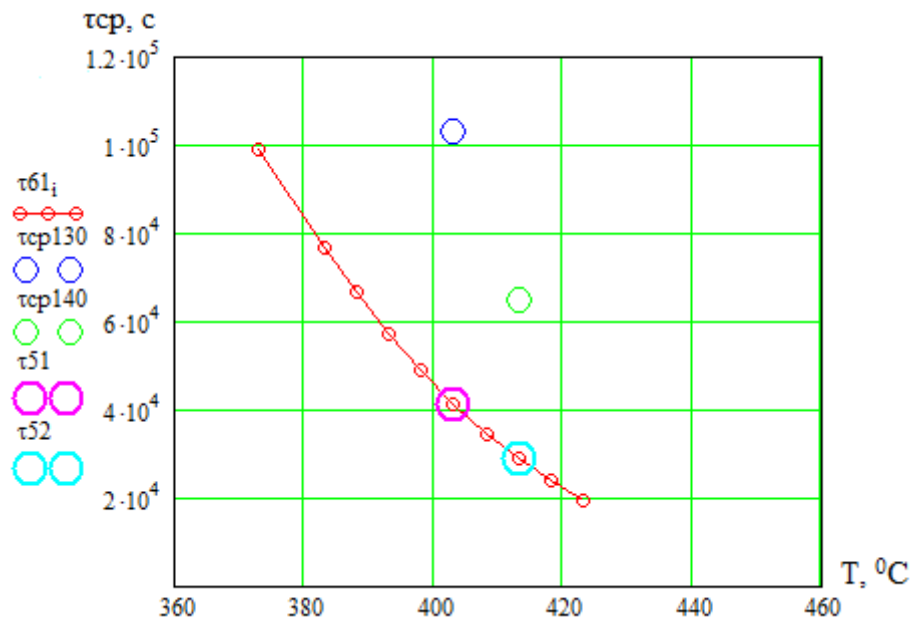


Рисунок 3.4.3 – зависимость времени до пробоя от температуры T_1 при напряженности поля E_3

Из рисунка 3.4.3 видно, расчетные и экспериментальные значения среднего времени до пробоя несколько отличаются. Расчетная кривая дает заниженные значения времени до пробоя, что может быть связано с неточностью расчета параметров и коэффициентов.

Теперь построим график зависимости времени до пробоя от температуры при напряженности E_3 с учетом значения среднего времени до пробоя $\tau_{ср4}$ при температуре $T_4 = 100$ °C.

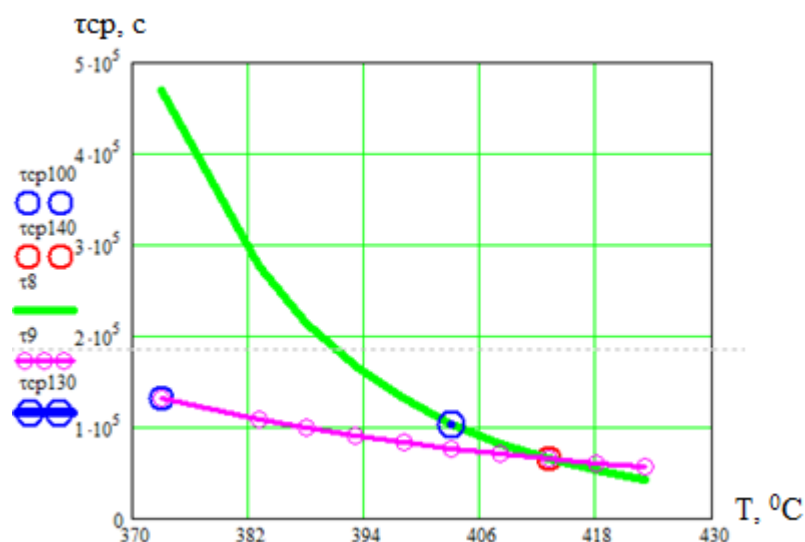


Рисунок 3.4.5 – зависимость расчетной кривой от времени до пробоя от температуры

После уточнения найденных параметров проанализируем зависимость времени до пробоя от температуры. Из полученного графика видно, расчетные и экспериментальные значения среднего времени до пробоя согласуются между собой (уточненные параметры приближаются к экспериментальным данным).

3.5 Анализ возможности описания полученных нами экспериментальных зависимостей времени до пробоя от температуры и напряженности электрического поля на основе эмпирических уравнений

В литературном обзоре нами было показано, что зависимости времени до пробоя (кривые жизни) могут быть описаны эмпирическими уравнениями различного вида, а именно:

1. уравнение степенного вида;
2. уравнение экспоненциального вида;
3. уравнение комбинированного вида.

Определим коэффициенты, входящие в эти уравнения на основе полученных нами экспериментальных результатов.

Рассчитаем и построим для сравнения график зависимости времени жизни от напряженности электрического поля для уравнения степенного вида:

- уравнение степенного вида:

$$\tau_{np} = A \cdot E^{-n}, \quad (3.5.1)$$

где A , n - постоянные;

$n \approx (4-8)$ для конденсаторной бумаги на \sim напряжение;

$n \approx (9-12)$ для конденсаторной бумаги на $=$ напряжение;

$n \approx (50-80)$ для маслобарьерной изоляции на \sim напряжение.

Построим графики зависимости времени жизни от напряженности электрического поля для уравнения степенного вид

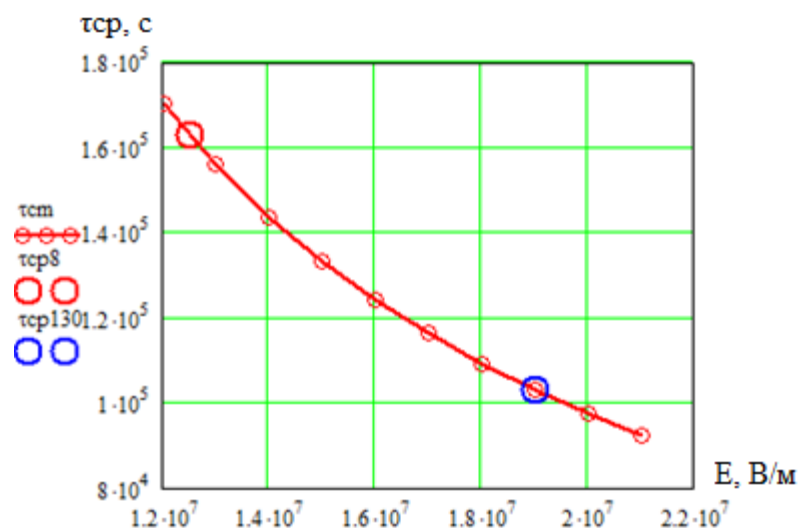


Рисунок 3.4.6 – зависимость времени жизни от напряженности электрического поля для уравнения степенного вида

Из рисунка 3.4.6 видно, что рассчитанная зависимость времени жизни от напряженности электрического поля на основе уравнения степенного вида имеет вид кривой, которые согласуется с литературными данными. Экспериментальные точки среднего времени до пробоя лежат на самой кривой. Однако данное уравнение не объясняет механизм старения.

Оценим характер зависимости времени жизни от напряженности электрического поля на основе уравнения экспоненциального вида, где B и b параметры, отражающие свойства изоляции

- уравнение экспоненциального вида:

$$\tau_{np} = B \cdot e^{-bE} \quad (3.5.2)$$

Здесь B, b - коэффициенты, отражающие условия эксперимента;

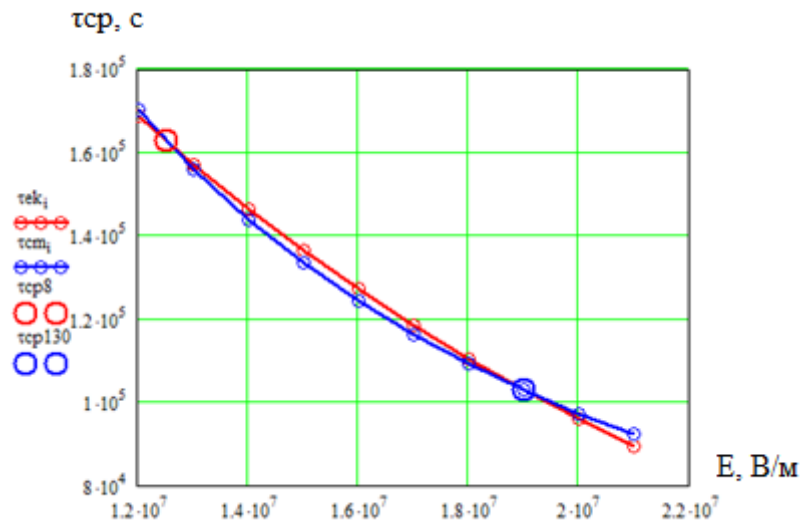


Рисунок 3.4.7 – зависимость времени жизни от напряженности электрического поля для уравнения экспоненциального вида

На основе определенных коэффициентов рассчитаем зависимость времени до пробоя и построим график этой зависимости, который приведен на рис.3.4.7.

Из приведенного графика видно, эмпирическое уравнение экспоненциального вида также дает зависимость, согласующуюся с литературными данными. Однако, как уже отмечалось ранее, уравнение экспоненциального вида, как и уравнение степенного вида не дает объяснения причин старения.

Оценим изменение времени жизни от напряженности электрического поля на основе комбинированного уравнения, учитывающего действие приложенного напряжения и температуры

- уравнение комбинированного вида:

$$\tau_{np} = CU^{-n} \cdot e^{\frac{\Delta W}{KT}} \quad (3.5.3)$$

Здесь C , n , K - константы,

ΔW - высота потенциального барьера,

T - температура в $^{\circ}\text{K}$,

K - постоянная Больцмана.

Сделаем расчет и сопоставим с экспериментальными данными. Проведем сравнение зависимостей на основе уравнений степенного и экспоненциального вида с зависимостями, полученными на основе термофлуктуационной теории. Результаты расчета приведены на Рисунке 3.4.8.

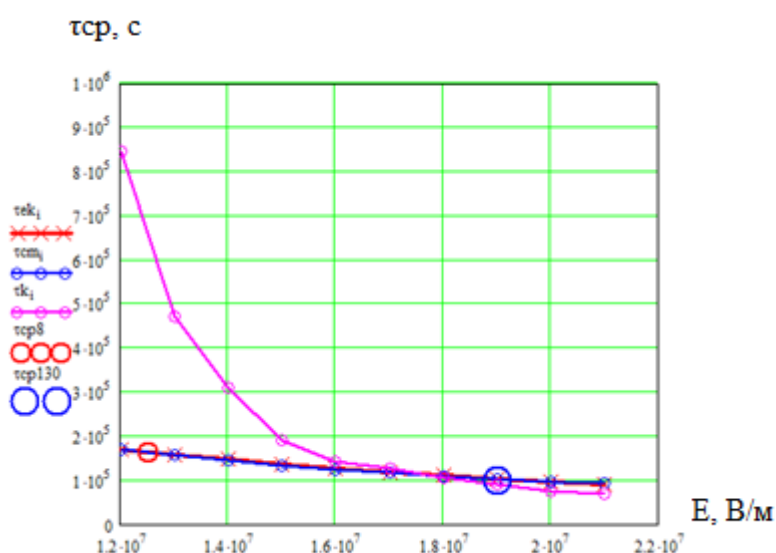


Рисунок 3.4.8 – зависимости времени жизни от напряженности электрического поля для уравнения комбинированного вида в сопоставлении с кривыми, рассчитанными на основе уравнения степенного и экспоненциального вида

Как видно из рисунка 3.4.8, уравнение комбинированного вида в отличие от уравнений степенного и экспоненциального вида дает зависимость, лежащую выше кривых, полученных на основе уравнений степенного и

экспоненциального вида. Однако уравнение комбинированного вида позволяет оценить влияние на время до пробоя не только напряженности электрического поля, но и температуры.

Выводы по работе

Результаты проведенных исследований дают возможность сделать следующие основные выводы:

- Показано что время до пробоя исследованных образцов зависит как от температуры так и от напряженности поля. Установлено, что время до пробоя с повышением температуры и напряженности электрического поля уменьшается.
- Показано, что для объяснения влияния температуры и напряженности электрического поля на время до пробоя исследованных полимерных материалов может быть использована термофлуктуационная теория.
- Полученные экспериментальные результаты удовлетворительно согласуются с результатами расчета согласно термофлуктуационной теории.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Основной задачей технико – экономического расчёта является определение величины экономического эффекта от использования в общественном производстве основных и сопутствующих результатов, получаемых при решении поставленной задачи в данной дипломной работе.

Нефтепогружные кабели являются одним из самых распространенных кабельных изделий. Данные кабели получили свое применение практически во всех отраслях нефтедобывающей промышленности. Они предназначены для питания электрических двигателей, центробежных насосов для подъема нефти. Подвергаются значительным изгибающим, крутящим нагрузкам и воздействию сил трения при подъеме и опускании системы в скважину + воздействию давления и температуры окружающей среды.

Для производства нефтепогружных кабелей применяют следующие материалы: полиэтилен, композиций блоксополимера пропилена с этиленом, сополимер пропилена, резины на основе этиленпропиленового каучука, маслобензостойкой этиленпропиленовой резины и полипропилен.

Полипропилен являются одним из наиболее распространенных синтетический термопластичный неполярный полимер, принадлежащий к классу полиолефинов. Для получения различных свойств материала на основе полиолефина, разрабатываются и внедряются полимерные композиции на основе полиолефина. В связи с этим проводятся исследования, направленные на выявление общих черт полимерной композиции на основе полиолефина (полипропилена), а так же его прочность на время до пробоя.

Основной целью работы является исследование влияние температуры на время до пробоя изолированных жил. Проведения подобной работы связана с тем, что применяемые в настоящее время материалы для изоляции не обеспечивают достаточного большого срока службы кабеля. В связи с этим

возникла необходимость изучения материалов (полипропилена) на время до пробоя в различных температурах.

В результате проделанной работы было изучено действие разных температур и напряжения на изоляцию, для чего были созданы необходимые условия, при которых работает реальный кабель. Для оценки действия температуры и напряжения на изоляцию были построены графики.

В данной работе была определена величина всех затрат, связанных с осуществлением различных этапов общего технологического процесса.

4.1 Планирование процесса управления НТИ

Определение задач, необходимых для реализации НТИ.

Для реализации проекта необходимо реализовать спектр задач, связанных с научными, техническими и экономическими проблемами. Основные решаемые в данном проекте задачи указаны на рисунке 4.1. Первая задача связана с изучением литературных данных о материале, общие понятия о пробоях. Вторая задача – изготовление опытных образцов, в данной НИР. Третья задача заключается в определении стандартной методики, для проведения испытаний. Четвертая задача – само проведение испытаний. В итоге НИР должен быть сформулирован вывод о времени до пробоя. [38]

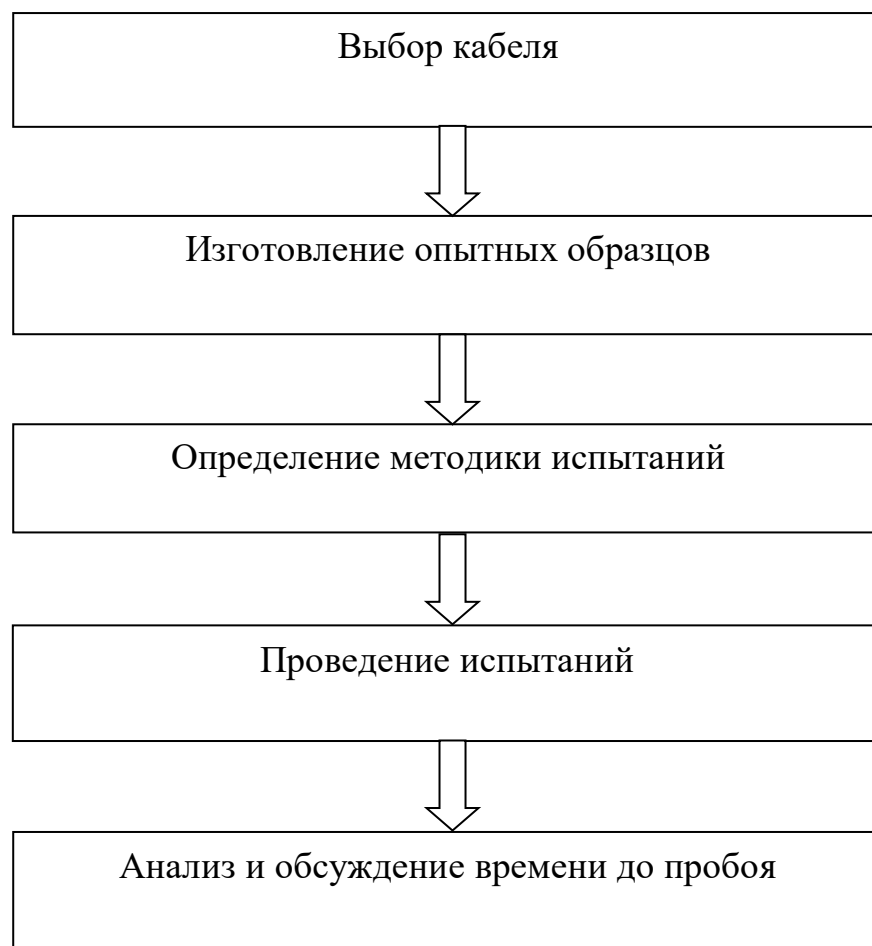


Рисунок 4.1 – Дерево целей

Задачи проекта решаются при Томском политехническом университете, испытания проводились в лаборатории 8 корпуса ауд. 229. Где есть оборудование для проведения испытаний (термошкаф). Термошкаф предназначен для определения времени старения (время до пробоя) изоляции кабелей.

SWOT- анализ

Для проведения экспериментов необходимо выбрать качественный термошкаф. Модель экспертной оценки в нашем случае будет строиться по следующим параметрам:

- производительность;
- емкость сушки;

- Задаваемые температурные режимы, °С;
- мощность;
- стоимость;
- габаритные размеры.

Эксперт оценил характеристики товаров по 10 - ти бальной шкале (10 - max). Далее он оценил важность каждого критерия по 5 бальной шкале (b_j). Все данные представлены в таблицах.

Таблица 6 – Список компаний – производителей сушильных камер

№	Фирма производитель	Страна
1	ООО «Медтехника-М»	Россия
2	Tau Steril	Италия
3	WOSON	Китай

Таблица 7 – Оценка конкурентоспособности компании

Фирма производителе ль	Цена	Произв одитель ность	Емкость сушки	Мощ ность	Габаритны е размеры	Диапазо н температ ур	Су мм а
<u>WOSON</u>	7/1,45 6	6/0,75	6/0,498	8/1,6 64	6/1,002	8/1,664	19 85 0
Tau Steril	6/1,24 8	8/1	8/0,664	9/1,8 72	8/1,336	7/1,456	39 00 0
ООО «Медтехника -М»	4/0,83 2	9/1,125	9/0,747	8/1,6 64	10/1,67	8/1,664	30 00 0
Важность (b_i) [1-5]	5	3	2	5	4	5	24
Вес (W_i)	0,208	0,125	0,083	0,208	0,167	0,208	1

Пример выполнения экспертной оценки: Для каждого завода изготовителя в столбцах с факторами конкурентоспособности необходимо было поставить оценку от 1 до 10, показывающую степень удовлетворения потребностям заказчика.

b_i – важность критерия – в этой строке необходимо было поставить цифру от 1 до 5 (5 – максимальная важность для заказчика).

W_i – весовой коэффициент – в этой строке рассчитывается весовой коэффициент каждого фактора конкурентоспособности как отношение важности критерия к сумме важностей всех факторов $\frac{b_i}{b_{\Sigma}}$.

При правильности расчета суммарный весовой коэффициент равен единице. Таким образом, весовой коэффициент W_i показывает долю важности каждого из факторов конкурентоспособности.

Далее необходимо умножить полученные весовые коэффициенты на оценку эксперта (от 1 до 10) и сумма полученных значений даст итоговую оценку эксперта по каждому поставщику.

В итоге, по результатам независимой экспертной оценке, на и более высокий бал по предоставленным критериям получила компания – ООО «Медтехника-М». Из этого следует вывод термощкаф «Медтехника-М» спроектированные и изготовленные на нашем производстве. По сравнению с другими выше представленными компаниями производительность продукции больше, а это характеризует эффективность работы и по цене приемлемые.

4.2 Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения

Целью планирования НИР является обеспечение оптимального ведения работ, уменьшение затрат, увеличение производительности труда. НИР, как правило, выполняется по этапам, которые распределяют последовательно.

В настоящее время для планирования чаще всего используют сетевые или линейные графики, в которых представлена последовательность выполнения этапов работ разрабатываемого проекта.

Важной частью технико – экономических расчетов является определение трудоемкости работ по всем стадиям и этапам. Трудоемкость характеризуется количеством живого труда, затраченного на изготовление какой либо продукции.

Проекта представлен в виде календарного плана, таблица 8.

Таблица 8 – Календарный план

№ работ	Вид работ	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Покупка проводов	22	15.09.14	6.10.14	НР
2	Изучение и принцип работы экспериментальной установки	14	7.10.14	20.10.14	Исполнитель
3	Изготовление макетных образцов	21	21.10.14	10.11.14	Исполнитель
4	Работа с ГОСТ	14	11.11.14	24.11.14	Исполнитель
5	Проведение испытаний	518	25.11.14	25.04.16	Исполнитель
6	Определение среднего времени до пробоя	2	26.04.16	27.04.16	Исполнитель
7	Получение данных о надежности изоляции ПК	2	28.04.16	29.04.16	Исполнитель
	Итого	593			

4.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	3
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	2
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	2
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	4
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	2
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4

10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	3
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	4
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	52	50

Согласно полученным итоговым баллам разработка является перспективной выше среднего. Это означает, что данная разработка требует дальнейшего улучшения.

4.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Наиболее успешными методами коммерциализации результатов научно-технического исследования в данном случае являются:

Торговля патентными лицензиями. Этот метод может оказаться успешным, потому что в патентной лицензии, предоставляющей данные о стойкости изоляции на время до пробоя, заинтересованы предприятия производящие нефтепогружные кабели. Данные предприятия представляют собой сферы крупного бизнеса и имеют большое распространение.

Инициация проекта

В данном разделе содержится информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Информация по заинтересованным сторонам проекта и цели результатов проекта приведены в таблице 10, 11.

Таблица 10 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
ООО «Сибкабель»	Повышение роста продаж нефтепогружных кабелей
ОА «ОКБ КП»	Расширить номенклатуру кабельных изделий и повысить рост продаж кабелей

Таблица 11 – Цели и результат проекта

Цели проекта	Получение данных о надежности изоляции кабеля
Ожидаемые результаты проекта	– Данные о надежности изоляции кабеля; – Влияние температуры на изоляцию кабеля; – Составление рекомендаций по получению требуемой надежности изоляции кабеля.
Критерии приемки результата проекта	Обоснованность и наличие подтверждений результатов проекта.
Требования к результату проекта	– Обоснованность; – Наличие подтверждений результата.

Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же

«границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Ограничения проекта приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения / допущения
Бюджет проекта	НИ ТПУ
Источник финансирования	Ограничиваются заинтересованными компаниями
Сроки проекта	18 месяцев
Дата утверждения плана управления проектом	1.10.14
Дата завершения проекта	1.06.16

4.5 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

4.6 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела определены ключевые события проекта, их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Эта информация представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат
1	Изготовление макетных образцов	18.10.14	Два отрезка провода скрученные между собой
2	Проведение испытаний	20.11.14	Данные для определения времени до пробоя
3	Анализ данных полученных после испытания	30.04.16	Данные о стойкости к температуре и напряжению

В составе затрат на разработку данного проекта включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной работы:

В смету на выполнение работы входят следующие элементы затрат:

- материальные затраты;
- заработная плата;
- отчисления на социальные выплаты;
- накладные расходы.

Определение материальных расходов

В данном разделе отражается стоимость оборудования и материала, на котором ставится эксперимент. Перечень необходимого оборудования, комплектующих, материалов (для проведения НИР), а также их стоимость приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Смета затрат на оборудование, комплектующие, материалы

№ п/п	Наименование	Кол-во, шт	Сумма, руб
1	Термошкаф	3	30 000
2	Терморегулятор	3	37 300

3	Киловольтметр	3	20 000
4	Схема управления	3	13 500
5	Высоковольтный трансформатор	1	284 000
6	Латор	3	3 000
7	Мост диэлектрических потерь	1	200 000
Итого			587 800

4.7 Затраты на оплату труда

В истинную заметку вводиться главная заработная оплата академических и инженерно-промышленных сотрудников, работников образцовых студий и опытнейших производств, на прямую участвующих в исполнении трудов согласно этой проблеме. Размер затрат согласно заработной плате обуславливается отталкиваясь с трудозатратности исполняемых трудов и функционирующей концепции оплаты работы. В структуре главной заработной платы вводятся вознаграждение, оплачиваемая каждый месяц с фонда заработной платы. Подсчет главной заработной платы воанан в таблице 4.7.1.

Таблица 15 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладу), тыс. руб
1	Покупка проводов	Научный руководитель	22	2308,91	50796,02

2	Изучение и принцип работы экспериментальной установки	Исполнитель	14	1848,18	25874,52
3	Изготовление макетных образцов	Исполнитель	21	1848,18	38811,78
4	Работа с ГОСТ	Исполнитель	14	1848,18	25874,52
5	Проведение испытаний	Исполнитель проекта	518	1848,18 1206,56	957357,2 624998,1
6	Определение среднего времени до пробоя	Исполнитель	2	1848,18	3696,36
7	Получение данных о надежности изоляции ПК	Исполнитель	2	1848,18	3696,36
Итого:1731104,86					

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.7.1)$$

где, $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (4.7.2)$$

где, $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. [43]

Расчет баланса рабочего времени приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	52	52
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
– отпуск	56	56
– невыходы по болезни	14	17
Действительный годовой фонд рабочего времени	229	226

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (4.7.3)$$

где, $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сферобслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{\text{тс}}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 17.

Таблица 17 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_{тс},$ руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	$З_m,$ руб.	$З_{дн},$ руб.	$T_{р,}$ раб. дн.	$З_{осн},$ руб.
Научный руководитель	27500	0,3	0,15	1,3	51838	2308,91921	229	528742,5
Инженер	17500	0,3	0,5	1,3	40950	1848,18584	226	417690
Итого								946433

4.8 Дополнительная заработная плата научно - производственного персонала

В эту заметку вводится совокупность выплат, предусмотренных законодательством о труде, к примеру, плата новых и добавочных отпусков; плата периода, сопряженного с исполнением муниципальных и социальных обязательств; оплата гонорары из за выслугу года и т.п. (в обычном – 12 % с средства главной заработной платы).

Вспомогательная заработная оплата рассчитывается отталкиваясь с 10-15% с главной заработной платы, сотрудников напрямую участвующих в осуществлении проблемы:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} , \quad (4.8.1)$$

где, $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Расчет дополнительной заработной платы приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Научный руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	50796,02	1055310,74
Дополнительная зарплата	7619,4	158296,61
Зарплата исполнителя	58415,42	1213607,35
Итог по статье $C_{зп} = 1213607,35$ руб.		

4.9 Отчисление на социальные нужды

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot 1213607,35 = 364082,205 \quad (4.8.2)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

4.10 Накладные расходы

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot 1213607,35 = 970885,88 \quad (4.8.3)$$

где, $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

4.11 Определение экономической эффективности НТИ

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности выполняемой НИР, необходимо рассчитать коэффициент научно – технической эффективности (НТЭ). Коэффициент НТЭ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное количество баллов по принятой шкале. Общую оценку проводят по сумме баллов всем показателям с учетом весовых коэффициентов. Общая оценка рассчитывается по формуле (1.14).

$$HTЭ = \sum_{i=1}^n k_i \cdot P_i; \quad (4.11.1)$$

где, k_i – весовой коэффициент i -го признака научно технической эффективности;

P_i – количественная оценка i -го признака.

Оценка научно – технической эффективности производится по таблицам, которые приведены ниже:

Таблица 19 – Весовые коэффициенты НТУ

Признак НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0.6
Теоретический уровень	0.4
Возможность реализации	0.2

Таблица 20 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1 – 4	Низкий НТУ
5 – 7	Средний НТУ
8 – 10	Сравнительно высокий НТУ
11 – 14	Высокий НТУ

Таблица 21 – Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка закона, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимости между факторами	8
Разработка способа (алгоритм, вещества, устройства, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0,5

Таблица 22 – Возможность реализации по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
Масштабы реализации	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

По выделенным в таблицах значениям, которые относятся к данной работе, рассчитаем коэффициент научно – технической эффективности проведения НИР:

$$НТУ = 0.6+0.4 \cdot 0.5+0.2 \cdot (4+4) = 5.4 \quad (4.11.1)$$

Коэффициент научно – технической эффективности – средний. Целесообразно НТИ с точки зрения ресурсоэффективности. В ходе проведения испытаний были определены образцы, которые получились с более длительным временем старения.

Выводы

В данном разделе была описана инициализация проекта (НТИ), осуществлена планирование процесса управления НТИ (определены цели, задачи, этапы, график проведения), рассчитан бюджет.

- Значительное количество нефтепогружных кабелей работают в условиях различных температур, механизм старения полимерных изоляционных материалов в этих условиях до конца не изучен. Любые

новые данные об изменении скорости старения полимерных материалов представляет интерес с точки зрения увеличения срока службы кабельных изделий.

- В связи с тем, что исследование проводились при Томском политехническом университете, компенсирует расходы на проведенные исследования и бюджет НТИ, суммарные затраты расходов входят в рамки бюджета, то считаем, что данный этап эффективен (задачи решены, цели достигнуты).
- При испытании образцов был получен коэффициент научно – технической эффективности, равный 5,4. Также данное исследование кабеля на время до пробоя довольно актуально на сегодняшний день.

5 Социальная ответственность

Введение

Охрана труда это система законодательных актов, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособность человека в процессе труда.

Обеспечение охраны труда и окружающей среды является важнейшим и необходимым условием любого технологического процесса. Задачей данного раздела является выявление опасностей, которые могут возникнуть при выполнении экспериментальной части дипломного проекта и рассмотреть его как воздействия на окружающую среду. Выполнение работ сопровождается существующим рядом факторам (вибрацией, повышенным шумом) что требует проведение необходимых организационных и технических мероприятий по снижению вредного воздействия этих факторов, а так же пожаров и взрывов. Студенты электротехнических специальностей должны хорошо знать основы электробезопасности.

Более подробно в отношении действия опасных и вредных производственных факторов рассмотрим рабочее место центр ресурсов сбережения при Томском политехническом университете.

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Задачей охраны труда является обеспечение безопасности и удобство труда, для чего необходимо проанализировать опасные и вредные факторы окружающей среды. В процессе работы человек вступает во взаимодействие с предметами труда, орудиями труда, другими людьми.

Экспериментальная часть дипломной работы проводилась в следующей последовательности:

1. Подготовка образца для испытания на время до пробоя;
2. Испытание образцов в исходном состоянии;

Для проведения экспериментов применялось следующее оборудование:

- Инструмент для резки, ручная дрель, инструмент для удаления изоляции;
- медицинский стерилизатор (термошкаф).

Опасные и вредные факторы, воздействующие при эксплуатации оборудования на работника, классифицируются:

- санитарно – гигиенические факторы: нерациональное освещение, содержание вредных и отравляющих веществ в воздухе;
- организационно – технические факторы: неправильная организация труда и рабочего места (загроможденность помещения, присутствие ненужных и отсутствие необходимых для работы приборов и приспособлений).
- психофизические факторы: статические, динамические и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, утомление, эмоциональные перегрузки). Большое значение в процессе труда имеет организация рабочего места.

Выявление причин производственного травматизма даёт возможность разработать меры по их предотвращению. Важной организационной мерой является установление научно обоснованных норм по гигиене труда.

Испытания проводились в лаборатории ТПУ 8 корпуса ауд. 229.

Главной опасностью при проведении экспериментов являлась пожароопасность.

Основные опасные факторы:

- механическая опасность (инструмент для резки);
- поражение электрическим током (наступает при соприкосновении с токоведущими частями установки).

Основные вредные факторы:

- отклонение параметров микроклимата;

- недостаточная освещенность;
- шум.

5.2 Опасность поражения электрическим током

Электробезопасностью является система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

К основным причинам воздействия тока на человека относятся случайные проникновения или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям, появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции и др.

Существуют следующие виды электрических воздействий на человека:

- термическое (ожог);
- электрическое;
- механическое (электрометаллизация);
- биологическое (паралич мышц, электрический удар).

Имеются предельно допустимые уровни (ПДУ) напряжений и токов. Мероприятия по защите от поражения электрическим током – защитное заземление. Принцип действия защитного заземления: человек должен стоять внутри контура заземления и при попадании фазного напряжения на заземленный корпус прибора, под фазным напряжением окажется как корпус прибора, так и участок земли, на которой стоит человек. При прикосновении человека с прибором между его рукой и ногами не будет возникать разницы потенциалов, и ток через человека не потечет.

В помещении работа ведется без повышенной опасности [1], т.е. оно не характеризуется наличием таких условий, как:

- повышенная влажность (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%);

- высокая температура (более 30 °С);
- токопроводящая пыль,
- токопроводящие полы;
- возможность одновременного соприкосновения к имеющим соединение с землей металлическим предметам и металлическим корпусам электрооборудования.

5.3 Производственная санитария

Условия труда определяются с трудовым процессом и санитарно-гигиенической обстановкой. Рабочим местом является зона приложения труда определенного работника или группы работников. Помещение по своему объему и площади должно быть таким, чтобы обеспечить условия для производительности труда и здоровья работающих. В нём предусматривают соответствующие параметры температуры, освещения, чистоты воздуха, шум, действия вредных и ядовитых веществ и.т.д. Для обеспечения нормальных условий труда санитарные нормы в соответствии с требованиями СанПин 2.2.2/2.4.1340-03 устанавливают на одного работающего [22], требуется иметь на одного работающего объём производственного помещения не менее 15м³, площадь помещения не менее 6 м².

В работе принимали участие 2 исполнителя: руководитель проекта и дипломник. Фактическая площадь лаборатории – 71,3 м², объем – 180,7 м³ и высота – 3,2 м. Можно сказать что помещение удовлетворяет санитарным нормам.

Важную роль для здоровья человека играет состояние окружающей среды, микроклимат в лаборатории. В соответствии с СанПин 2.2.2/2.4.1340-03, параметрами характеризующими микроклимат, являются: температура, относительная влажность воздуха, подвижность воздуха, тепловое излучение. Перечисленные параметры влияют на организм человека.

Экспериментальные работы, которые проводили в лаборатории, можно отнести к категории легкой физической работы (сидя, стоя, не требует систематического физического напряжения).

В соответствии с ГОСТ 12.1005–88 одним из необходимых условий здорового и высокопроизводительного труда является обеспечение чистоты воздуха и нормальных метеорологических условий в аудитории. Для оценки метеоусловий в помещении производят измерения температуры, влажности, запылённости, скорости движения воздуха и интенсивности теплового излучения. Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, указанным в таблице 23.

Таблица 23 – Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений

Наименование норм	Оптимальная		Допустимая	
	Зимний Период	летний период	зимний период	летний период
<i>I</i>	2	3	4	5
1.Температура воздуха С.	20-22	20-24	18-25	не>22
2.Относит. Влажность %	50-60	50-60	не>70	70
3.Скорость движения воздуха, м/с	0.2	0.3	0.3	0.5

В нашей лаборатории уровень влажности воздуха около 40%, что удовлетворяет требованиям санитарно-гигиенических норм.[19]

Движение воздуха внутри помещения происходит при непрерывном движении (нагреве) воздушных масс в пространстве и действием вентиляции.

Система отопления аудитории должна обеспечить достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха в холодный период года, а так же безопасность в отношении пожара и взрыва. Так же необходимо обеспечить приток воздуха в аудиторию. Минимальный расход воздуха определяется из расчета $50 - 60 \text{ м}^3/\text{ч}$ на одного человека. Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и частоты воздуха в аудитории, возможно, применить вентиляцию в соответствии требованиями СанПиН 2.2.2.12.4.1340-03.

Для поддержания данных санитарных норм достаточно иметь естественную неорганизованную вентиляцию помещения и местный кондиционер установки полного кондиционирования воздуха, обеспечивающий постоянство температуры, относительной влажности, скорости движения и чистоты воздуха. Необходима система центрального отопления, обеспечивающая заданный уровень температуры в зимний период.

В зимний период в аудитории для поддержания необходимой температуры используется система водяного отопления. Эта система надежна в эксплуатации и обеспечивает возможность регулирования температуры в широких пределах.

5.4 Освещенность

Недостаточное освещение рабочего места и помещения является вредным фактором для здоровья человека, вызывающим ухудшение зрения. Основные требования, которые предъявляются к освещению, заключаются в том, чтобы с его помощью создать наиболее благоприятные условия для работы зрительного аппарата человека. Кроме того, оно должно удовлетворять вопросам экономичности, надежности и безопасности.

Существует три вида освещения – естественное, искусственное и комбинированное.

По СНиП 23.05-95 «Естественное и искусственное освещение» и отраслевым нормам освещения в помещении для данной (3 разряда а – под разряд) работы рекомендуется $E_n = 400$ Лк при общем освещении. Светильник с люминесцентными лампами.

5.5 Шум

Шум – это беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности. Он может создаваться работающим оборудованием, используемым в процессе труда инструментом, различными механизмами и устройствами.

В результате исследований установлено, что шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека. Действие шума различно: затрудняет разборчивость речи, вызывает снижение работоспособности, повышает утомляемость, вызывает изменения в органах слуха человека, ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция. Действие вибрации также оказывает значительное влияние на организм человека, при этом развивается профессиональное заболевание – виброболь.

Шумы в рассматриваемом помещении возникают как от внутренних источников, так и от внешних раздражителей. К внутренним источникам мы относим технику, находящуюся в данном помещении.

Для уменьшения шума нужно уменьшить энергию отражённых волн. Это можно достичь, увеличив эквивалентную площадь звукопоглощения помещения путём размещения на его внутренних поверхностях звукопоглощающих облицовок, а также установки в помещении штучных звукопоглотителей. Наиболее эффективное снижение шума можно достичь путём установки звукоизолирующих преград в виде стен, перегородок, кабин.

Нормируемые параметры шума на рабочем месте определены ГОСТ 12.1.003 – 83 [47] и Санитарными нормами СН 2.2.4.548 – 96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [48].

5.6 Неблагоприятные метеоусловия

В помещении, где работают студенты в силу различных причин, может появиться такой фактор, как отклонение температуры и влажности от норм. Это создает дискомфортные условия для работы человека. Кроме того, для создания комфорта, рабочее место должно быть оснащено гибким креслом.

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений в холодный и переходный период должны соответствовать нормам.

В доступных местах лаборатории должны быть аптечки, укомплектованные необходимыми медицинскими средствами для оказания первой помощи пострадавшему. Должна быть также оборудована система пожарного оповещения, специальные места со средствами тушения пожаров.

Техника безопасности

5.7 Электробезопасность

Все мероприятия обеспечивающие безопасность работ, делятся на:

1. Организационные (организация обучения и инструктажа лиц, обслуживающих оборудование, выполнение всех правил и норм).
2. Технические (безопасность эксплуатации электрооборудования).

Электрические установки, к которым относятся термошкаф, представляют для человека потенциальную опасность, так как в процессе

эксплуатации или проведения профилактических работ, человек может коснуться токоведущих частей.

По классу напряжения установки в лаборатории термошкаф относятся к установкам до 220 В.

Характеристики установки:

- напряжение питания – 220 В;
- частота – 50 Гц;
- напряжение на исследуемом образце до 30 кВ;
- потребляемая мощность – 1,5 кВт;
- максимальная температура в термошкафу – 90 °С.

Для защиты от поражения током в аудитории предусмотрено зануление.

5.7.1 Требования безопасности при аварийных ситуациях

Установка немедленно (аварийно) должна быть отключена от сети в следующих случаях:

- а) несчастный случай или угроза безопасности человеку;
- б) появление запаха, характерного для горящей изоляции, пластмасс;
- в) появление дыма или огня на измерительных элементах установки или пускорегулирующей аппаратуры;
- г) появление напряжения на доступных для человека частях установки в виде искрения, треска, щелчков.

В случае возникновения аварийной ситуации необходимо прекратить работу. Обесточить установку, отключить основной рубильник, который расположен с правой стороны от входной двери. Поставить в известность непосредственного руководителя или лицо, его заменяющее. Если ситуация позволяет – принять меры к ликвидации аварии.

Если произошел несчастный случай, необходимо поставить в известность руководителя, место происшествия оставить неизменным, если это не угрожает жизни и здоровью окружающих, оказать пострадавшему доврачебную помощь.

При поражении электрическим током лица, работающего на установке, необходимо выполнить следующее:

Освободить пострадавшего от действия электрического тока, для чего обесточить установку с помощью основного выключателя, расположенного у входной двери в лабораторию;

Если пострадавший в сознании и у него устойчивое дыхание и пульс, его нужно уложить на ровную поверхность, расстегнуть одежду, создать приток свежего воздуха, обеспечить наблюдение за ним до прибытия врача.

5.8 Механическая опасность

Для подготовки образцов необходимо произвести резку кабеля (необходимой длины) и концы кабеля очистить от изоляции. Для резки кабеля применяются - инструмент для резки, а для чистки кабеля от изоляции - инструмент для удаления изоляции. Во время работы может возникнуть опасности в связи с контактом инструмента и человека. Для воизбуждения этого студент находящийся в лаборатории, с испытательным кабелем, необходимо выделить отдельное рабочее место для испытателя. Таким образом можно предотвратить травмы, которые могут возникнуть в следсвие неаккуратного обращения с инструментом, а так можно использовать защитные перчатки. Если по какой то причине испытатель получил травму, то ему в зависимости от тяжести травмы окажут помощь (медицинская помощь на месте или первая до врачебная). Механическая опасность - по ГОСТ 12.0.003 – 74.

5.9 Пожарная безопасность

Основной причиной пожаров на электроустановках является нарушение технологического режима. Это связано с большим разнообразием и сложностью технологических процессов. Основы противопожарной защиты определяются стандартами ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность» [49].,

ГОСТ 12.1.010-76 «Взрывоопасность. Общие требования» [50]., НПБ 105- 03. И ППБ-03.

Аудитория по степени пожароопасности относится к классу В, так как в нем отсутствует выделение пыли и волокон во взвешенном состоянии. По огнестойкости [51], лабораторию можно отнести к помещениям 1 группы (стены кирпичные, а перегородки бетонные).

Для обеспечения пожаробезопасности в помещении предусмотрены первичные средства пожаротушения: установлена система автоматической сигнализации и два огнетушителя типа ОП- 4(з) –АВСЕ, предназначенный для тушения пожара. А также имеются световые, тепловые и дымовые датчики которые регулируют наличие того или иного фактора возгорания.

В лабораториях, где проводились исследования причины пожара могут быть электрические и неэлектрические.

Причины электрического характера:

- короткое замыкание;
- перегрузка;
- электрические дуги;
- плохие контакты в местах соединения проводников;

Причины неэлектрического характера:

- неосторожное обращение с огнем;
- неисправность отопительных приборов или нарушение режима их работы.
- Самовоспламенение некоторых материалов.

Пожарная безопасность в лаборатории достигается комплексом профилактических мероприятий. Включающих в себя организационные и технические.

Организационные мероприятия:

- проведение инструктажа;
- соблюдения чистоты и порядка в лаборатории;
- осмотр оборудования на предмет пожароопасности;

- обучение персонала способам и приемам ликвидации пожара.

Технические мероприятия:

- защита установок от перегрузок и короткого замыкания;
- по окончании работы соблюдать последовательности (выключит прибор из сети, выключить рубильник, выключить освещение, включить сигнализацию).

Организационные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности являются обучение рабочих и служащих правилам пожарной безопасности, разработка и реализация норм и правил пожарной безопасности, инструкций о порядке работы с пожароопасными веществами и материалами, изготовление и применение средств пропаганды пожарной безопасности.

При возгорании или возникновении пожара следует немедленно начать эвакуацию людей, отключить подачу воздуха по системе вентиляции, обесточить помещение и вызвать пожарную охрану. План эвакуации людей и оборудования лаборатории представлен на рисунке 5.9.1.

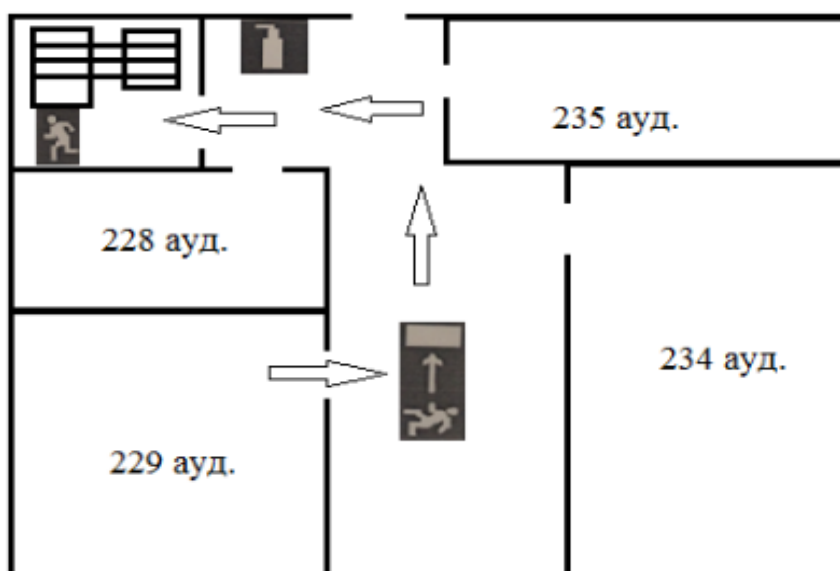


Рисунок 5.9.1 – План эвакуации

5.10 Охрана окружающей среды

Проблема защиты окружающей среды – одна из важнейших задач современности. В последние годы во всем мире все с большей силой выдвигается вопрос об охране окружающей среды.

Одна из самых серьезных проблем — потребление электроэнергии. С увеличением количества различных видов электрооборудования, внедряемых в производственную сферу, увеличится и объем потребляемой ими электроэнергии, что влечет за собой увеличение мощностей электростанций и их количества. И то и другое не обходится без нарушения экологической обстановки.

Люминесцентные лампы, применяемые в помещении для освещения, содержат от 3 до 5 мг ртути, относящейся к 1-му классу токсичных отходов, т.е. "чрезвычайно опасные". Учитывая это, лампы требуют определенных условий для хранения, эксплуатации и утилизации. Согласно санитарным нормам отходы, содержащие ртуть, должны временно храниться в герметичных емкостях или контейнерах в закрытых помещениях, исключающих доступ посторонних лиц. Их перевозка на полигоны складирования должна осуществляться специализированными лицензированными организациями. Размещение отходов на полигонах твердых бытовых отходов категорически запрещается!

Также рассмотрим возможность экономии электроэнергии при эксплуатации аудитории. Любая экономия электроэнергии – вклад, пусть небольшой в защиту окружающей среды, так как это означает экономию топлива и предотвращение выброса в атмосферу соответствующего количества окислов серы, азота, оксида углерода и др.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять электрооборудование с малым энергопотреблением.

5.11 Защита в чрезвычайных ситуациях

Среди возможных ЧС наиболее вероятным является возникновение пожара. Для предотвращения возникновения пожара применяются следующие шаги: проверка персонала на предмет знаний пожарной безопасности, выполнение работ в соответствии с правилами, плановый осмотр установок.

5.12 Загрязнение атмосферы

Атмосфера всегда содержит в своем составе определенное количество примесей, поступающих в нее от естественных и антропогенных источников. Уровень загрязнения атмосферы естественными источниками является фоновым и мало изменяется со временем. Более устойчивые зоны с повышенными концентрациями загрязнения возникают в местах активной жизнедеятельности человека. Рост промышленности в нашем тысячелетии привел к качественно новому загрязнению атмосферы, в частности аэрозолями тяжелых и редких металлов, синтетическими соединениями, не существующими и не образующимися в природе, радиоактивными, канцерогенными, бактериологическими и другими веществами.

В России основное загрязнение атмосферы создают три отрасли: промышленность, автотранспорт и теплоэнергетика. Самыми распространенными веществами, загрязняющими атмосферу являются: оксид углерода CO , диоксид серы SO_2 , оксид азота NO_x , углеводороды C_nH_m и пыль. Кроме них в атмосферу выбрасывается и ряд других более токсичных веществ.

5.13 Основные мероприятия по защите окружающей среды

Безотходная технология является наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий. Это комплекс мероприятий в технологических процессах от

обработки сырья до использования готовой продукции, в результате чего сокращается до минимума количество вредных выбросов и уменьшается воздействие отходов на окружающую среду приемлемого уровня.

В этот комплекс мероприятий входят:

1. Создание и внедрение новых процессов получения продукции с образованием наименьшего количества отходов.
2. Разработка различных типов бессточных технологических систем и водооборотных циклов на базе способов очистки сточных вод.
3. Разработка систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы.
4. Создание территориально-промышленных комплексов, имеющих замкнутую структуру материальных потоков сырья и отходов внутри комплекса.

Защита окружающей среды – это комплексная проблема, требующая усилий ученых многих специальностей. Особое значение имеет количественная оценка последствий загрязнения окружающей среды и конечно ущерб, причиняемого народному хозяйству загрязнением атмосферы. Защита окружающей среды от загрязнения помимо экономической задачи – повышение общественной производительности труда – включает и социально-экономическую задачу-улучшение условий жизни человека, сохранение его здоровья.

Разработка данного проекта не оказывает практически никакого влияния на окружающую среду, так как проводились лишь испытания образцов в исходном состоянии и до пробоя.

Заключение

В данной научно-исследовательской работе проведено испытания на кабели марки КППБК с полипропиленовой изоляцией. Основным элементом испытаний является термошкаф, терморегулятор, счетчик времени старения и киловольтметр.

А также была разработана методика испытания. Все методики испытания и измерения проводились на основе ГОСТ.

Нефтепогружные кабели являются одним из самых распространенных кабельных изделий. Данные кабели получили свое применение практически во всех отраслях нефтедобывающей промышленности. Они предназначены для питания электрических двигателей, центробежных насосов для подъема нефти. Подвергаются значительным изгибающим, крутящим нагрузкам и воздействию сил трения при подъеме и опускании системы в скважину + воздействию давления и температуры окружающей среды.

Для производства нефтепогружных кабелей применяют следующие материалы: полиэтилен, композиций блоксополимера пропилена с этиленом, сополимер пропилена, резины на основе этиленпропиленового каучука, маслобензостойкой этиленпропиленовой резины и полипропилен.

Полипропилен является одним из наиболее распространенных синтетический термопластичный неполярный полимер, принадлежащий к классу полиолефинов. Для получения различных свойств материала на основе полиолефина, разрабатываются и внедряются полимерные композиции на основе полиолефина. В связи с этим проводятся исследования, направленные на выявление общих черт полимерной композиции на основе полиолефина (полипропилена), а так же его прочность на время до пробоя.

Основной целью работы является исследование влияние температуры на время до пробоя изолированных жил. Проведения подобной работы связана с тем, что применяемые в настоящее время материалы для изоляции не обеспечивают достаточного большого срока службы кабеля. В связи с этим

возникла необходимость изучения материалов (полипропилена) на время до пробоя в различных температурах и напряжениях поля.

В результате проделанной работы было изучено действие разных температур и напряжения на изоляцию, для чего были созданы необходимые условия, при которых работает реальный кабель. Для оценки действия температуры и напряжения на изоляцию были построены графики.

Также в работе выполнены разделы «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность» и часть диплома переведена на английский язык.

Список использованных источников

1. Сажин Б.И., Лобанов А.М., Романовская О.С. Электрические свойства полимеров. Л.: Химия, 1986. – 224 с., ил.
2. Койков С.Н, Цикин А.Н. Электрическое старение твердых диэлектриков и надежность диэлектрических деталей. М.: Энергия, 1968. – 183 с.
3. Меркулов В.И. Математическое моделирование в электроизоляционных конструкциях. Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – 152 с.
4. Койков С.Н., Цикин А.Н. Электрическая прочность тонких слоев окиси алюминия, ЖТФ, 1995, т. 26, № 110. – 85 с.
5. Койков С.Н., Цикин А.Н. Основные закономерности старения алундовых покрытий, «Физика твердого тела», 1959, т. 1, № 3. – 110 с.
6. Воробьев Г.А., Похолков Ю.П., Королев Ю.Д., Меркулов В.И. Физика диэлектриков. Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 244 с.
7. Воробьев Г.А. Физика диэлектриков (область сильных полей), конспект лекций. - Томск.: Изд-во ТГУ, 1977. - 251 с.
8. Воробьев Г.А., Еханин С.Г., Несмелов Н.С. Физика диэлектриков (область сверхсильных электрических полей). Обзорная статья /Журнал «Известия вузов», Физика. - 2000. - № 8.
9. Воробьев А.А., Воробьев Г.А. Электрический пробой и разрушение твердых диэлектриков. - М.: Высшая школа, 1966. – 224 с.
10. Богородицкий Н.П., Волокобинский Ю.Н., Воробьев А.А., Тареев Б.М. Теория диэлектриков. - М.; Л.: Энергия, 1965. – 344 с.
11. Богородицкий Н.П., Волокобинский Ю.Н., Воробьев А.А., Тареев Б.М. Теория диэлектриков. - М.; Л.: Энергия, 1965. – 344 с.
12. Поплавко Ю. М. Физика диэлектриков: Учеб. пособие для вузов. – Киев: Вища шк. Головное изд-во, 1980. – 400 с.
13. Хиппель А. Диэлектрики и волны. - М.: ИИЛ, 1960. – 439 с.

14. ГОСТ Р МЭК 60851-5-2008 Провода обмоточные. Методы испытаний. Часть 5. Электрические свойства, Государственный стандарт России от 08 апреля 2008 года №МЭК 60851-5-2008.
15. Электронный ресурс: режим доступа
<http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C112/052.pdf>.
16. Уайтхед С. Пробой твердых диэлектриков. Госэнергоиздат, 1957. – 115 с
17. Делекторский Г.П. О некоторых закономерностях пробоя полиэтиленовой изоляции, «Электричество», 1961, №11.
18. Popov M. Overvoltages due to switching off an unloaded transformer with a vacuum circuit breaker/ M.Popov, E.Acha// IEEE Transactions on Power Delivery, -October 1999, No.4, pp. 1317-1326.
19. Зингерман А.С. Определение пробивного напряжения по испытаниям образцов, «Электричество», 1950, №3.
20. Holmes M.C. Insulation variability, Proc. AIEE, 1931, v. 50, №8.
21. Волокобинский Ю.М. Влияние воздушных включений на электрическую прочность и потерь в изоляционных материалах, ЖТФ, 1956, т. 26, вып. 3
22. Баженова Т.Ю., Королева В.И О методе оценки снижения кратковременного электрической прочности неоднородных диэлектриков при электрическом старении, Тр. 1-ой межвузовской конференции по современной технологии диэлектриков и полупроводников, Изд-во ЛЭТИ, 1957.
23. Федченко И. К. «Техника высоких напряжений». Вища школа, Киев, 1969
24. Перфилетов А.Н., Ионизация воздушных включений в полиэтиленовой изоляции высоковольтных кабелей, «Вестник электропромышленности», 1961, №11.
25. IEC 62271-203. 2000. «Gas-insulated metal enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV».
26. Bogger W., Hinterthur K. H., Kirchesch P. « A new synthetic test circuit for high voltage circuit breaker testing». E. von Bonin.

27. Moranova H. «Novy svoustup novy synteticky obvod pro zkonsky vypinaen vun a zvn». Elektrotechnicky obzor.-sv.65-6-176, p. 332-336.
28. Колесов С.Н. Исследования старения полиэтилена под действием электрических разрядов, «Пластические массы», 1966, №1.
29. Гордон Г.Я. Старения синтетических полимеров, Госхимиздат, 1962
30. Гаврикова Н.А., Тухватулина Л.Р., Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Шаповалова Н.В.. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. –Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 73 с.
41. Попова С.Н.. Управление проектами.– Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 121 с.
42. Карпунина М.Г.,Майданчика Б.И.. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие. – М: 1980. – 175 с.
43. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция), утверждено Министерство экономики РФ, Министерство финансов РФ № ВК 477 от 21.06.1999 г. [электронный ресурс]. – режим доступа <http://portal.tpu.ru/departments/otdel/peo/documents>.
44. ГОСТ 12.1.038 – 82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».
45. ГОСТ12.2.003-91 «Производственное оборудование, общие требования безопасности».
46. ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
47. СанПиН 2.2.4.584 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
48. СНиП 23 – 05 –95*. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. М.: Минстрой России, 2011.
49. ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
50. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещениях» от 1 октября 1996г. №21.

51. ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность».
52. ГОСТ 12.1.010-76 «Взрывоопасность. Общие требования».

Приложение А

Раздел 6

Prolonged dielectric strength

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4В	Мараткызы Молдир		

Консультант кафедры ЭКМ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭКМ	Меркулов Валерий Иванович	к.т.н., доцент		

Консультант – лингвист кафедры ИЯЭИ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ИЯЭИ	Федоринова Зоя Владимировна	к.п.н.		

Introduction

Currently, the problem of ensuring the reliability of electrical designs is very important. Therefore, the study of the basic laws of electric aging and studying the reasons for their failure is of great theoretical and practical significance. Nowadays, for the exploitation of oil wells used cables that provide insulation work in conditions of high temperatures, pressure and aggressive media. One of the types of cables that are designed and manufactured in the factory "Sibkabel" is cable brand of КППБК, through the use of polypropylene insulation. To assess the reliability of the work of such cables and to ensure reliable operation of the electrical equipment should consider information on the impact of various factors on their time to breakdown. The literature does not have enough information to answer this question (to assess the durability of such insulation considering influencing factors). Insufficient information was basic task and main aim of this work. The main objectives of investigation is influence of temperature and field strength at the time of break up the polypropylene insulation, applied when considered manufacturing cables.

To ensure high reliability used various polymeric materials (polypropylene). In this regard, the research of the aging process is **actual**.

The aim of present work is to study the effect of temperature and electric field strength to the time before the breakdown of the insulation conductors of the cable with polypropylene insulation and ensuring reliability.

The objectives of the work are:

- To evaluate the effect of temperature on time to the breakdown of insulation;
- To assess the effect of tension on the time to breakdown of insulation;
- To analyze the results obtained from the standpoint of the theory of fracture thermofluctuational isolation;

The research object is the cable on the basis of polypropylene.

The research methods are according to the kinetic thermofluctuation theory.

The practical value of the work is accounted for by the possibility to provide reliable functioning of isolation.

Structure and volume of the work

Our work has 105 page (excluding appendix) and consists of introduction, six basic units, conclusion, reference and appendices. Each unit consists of several logically interconnected chapters followed by a conclusion where we enumerate the results of our work concerning that very unit. The total outcome of the research is summarized in a separate conclusion. Our references consist of 45 sources represented by book of book Russian and foreign authors.

1. Review of the literature data for the study of long-term dielectric strength

The lack of necessary information in the literature on the impact of various factors on the operating time before the breakdown requires an analysis of patterns process insulation failure under the influence of these factors. For this we consider the general concepts of the dielectric breakdown, their form, the basic laws of the aging process.

During operation EIC are exposed to a variety of factors: operating voltage, switching surges, fluctuations in temperature, ambient humidity, mechanical stress, and others.

Due to the impact of these factors in the electrical insulation EIC there are various physical and chemical processes that cause deterioration of its dielectric properties. Typically these processes result in increased $\text{tg}\delta$, decrease resistivity, etc. insulation. The mechanism of the processes occurring in the aging electrical insulators, rather complicated and diverse and depends on the dielectric material and operating conditions.

The main factors that have the greatest impact include the ambient temperature, the value of the electric field strength, the presence of p.d, and mechanical effects.

Under the electrical strength of the dielectric understand this state when it is no longer withstand the applied voltage to it, and it is produced through the breakdown of the channel. In this case, the insulator is observed an abrupt increase in the current, and it loses its insulating properties. The solid dielectric, as opposed to liquid and gaseous dielectrics breakdown always leads to a dramatic change in the properties of the residual dielectric (mechanical disruption, penetration).

The voltage applied to the dielectric and causing breakdown is called breakdown voltage. As a measure of dielectric strength taking an average of the breakdown voltage of a uniform electric field, calculated:

$$E_{abv}=U_{br}/d , \quad (1.1)$$

where, U_{br} - breakdown voltage, V;

d - the thickness of the dielectric, m.

Because of the insulating structure of the insulator inhomogeneity in the bulk space charges can accumulate, leading to distortion of an internal electric field and the breakdown voltage decrease. Let us consider the kinds of breakdowns. According to GOST 21515-76, a break - this phenomenon is the formation of the dielectric conducting channel under the influence of an electric field.

1.1 Features of development of breakdown in homogeneous and heterogeneous dielectrics

1.1.1 Uniform dielectric breakdown

The breakdown of solid dielectrics in its development passes through at least two phases: a preparatory (electric strength loss stage) and final (fracture stage).

By the nature of the processes that determine the development of the preparatory stage, there are three main forms of solid dielectric breakdown:

1. electrical;
2. thermal;
3. electrochemical.

Let us briefly consider the basic laws specific to each form.

Electrical breakdown due to electronic processes in a strong electric field, leading to an avalanche increase in the carrier density in the dielectric. A typical feature of the electrical breakdown form a weak dependence of breakdown voltage on temperature, thickness of the sample and the voltage application time, if provided sufficiently homogeneous dielectric and uniformity of the electric field.

Thermal breakdown due to progressively increasing the release of heat in the dielectric due to dielectric loss. Typical signs of heat form the breakdown are as follows: exponential decrease in breakdown voltage with temperature in accordance with the decrease of the square root of the resistance value of the active insulator; inversely proportional to the square of the relationship between the breakdown voltage and the time of exposure τ_f (for small τ_f); progressive heating of the dielectric, which in some cases can be determined directly by the temperature rise, while others - indirectly (by increasing the conductivity or dielectric loss over time)

Electromechanical breakdown. When solid dielectrics are subjected to high electric fields, failure occurs due to electrostatic compressive forces which can exceed the mechanical compressive strength. If the thickness of the specimen is d_0 and is compressed to thickness d under an applied voltage V , then the electrically developed compressive stress is in equilibrium.

2 The experimental data. Aging process in polymer dielectrics

Of greatest interest is the question of laws electrical aging of polymeric dielectrics, which can be caused by many factors. The main ones are:

- oxidation polymers highly reactive radicals that exist only in the coverage area of the discharge;
- reactions mikroradikalov polymer, formed under the influence of discharges, with oxygen gas environment or other active substances that have arisen as a result of p.d.;
- dielectric surface bombardment by electrons and ions formed during the course of p.d.;

Sometimes erosion associated with the surface of the dielectric heating processes in the areas of contact with the individual channels p.d. and subsequent evaporation of the dielectric. Erosion and destruction of the dielectric may be due to electron bombardment of its surface, as a significant part of the discharge energy is transferred to electrons. This is confirmed by the data on which samples erosion surface perpendicular direction discharges much more intense erosion surface located along the discharge direction. With increasing depth of local erosion occur over time; progressively allocated preferential areas of intense destruction of the material, some of which can be converted into branched destruction (dendrites). When p.d. low-intensity primary role in the oxidation reaction plays erosion speed at which the free access of oxygen is increased by 1.5 times. With intense discharges cause dielectric destruction predominantly thermal degradation of polymers is due to the discharge energy. All this together causes premature aging of the insulation and lead to its failure.

2.1 Influence of partial discharge aging polymers

As another aging mechanism of polymer dielectrics are partial discharges. Partial discharge - it is an electrical discharge, the duration of which is a unit-tens of nanoseconds. Partial discharges occur in a weak spot of the dielectric (air inclusions, the boundary between the layers in the layered dielectric, various structural defects) under the influence of an alternating voltage and lead to a gradual development of the defect and failure isolation. Erosion is accompanied by gas evolution, and on the surface of the polymer erosion found in both liquid, and crystalline products of electrochemical reactions. In the study of the infrared spectra of polymers subjected to ionization aging, revealed the emergence of new absorption bands. All of this suggests that the aging of polymers is a change in their structure - destruction. The rate of degradation depends on the intensity of the partial discharges, which increase with frequency. Therefore, with increasing test voltage frequencies durability of the polymer product decreases.

Under the influence of the partial discharge (PD), the following processes may occur:

1. The formation of gaseous ionisation products - ozone, carbon oxides, nitrogen oxides, water vapor, etc.
2. Chemical degradation of the dielectric by the action of ionization products, followed by breaking of chemical bonds, the formation of free radicals, the emergence of cross-links (crosslinking) between macromolecules forming new groups (carboxyl, ether) in the polymer macromolecule as well as carbon and others. These changes are traced using IR spectroscopy.
3. The immediate impact on the dielectric bombardment by ions and electrons, the effect of the radiation generated when the PD.
4. Increasing the local electric field and temperature, resulting in the PD area.

5. Erosion of the insulator, leading to a reduction of its weight and thickness.

These factors cause a change in the dielectric properties, determine its mechanism of aging and lead to lower voltage start ionization. The role of various factors may be different in each case depending on the cases in the form of dielectric and test conditions. [3]

The main reason for the aging of polymeric insulators in an alternating field is partial discharges occurring in the air inclusions. More intensive aging interval field strengths $E > E^*$, than with $E < E^*$, probably due to the heating of the polymer to $\theta > \theta_{kr}$ by the energy of the partial discharge.

By measuring the number of discharges and the volume of the destroyed part of the polyethylene sample with artificial sometimes, Mason estimates that on average, each unit discharge destroys 10^{-5} cm^3 polyethylene. When the action is indirect discharge zone thickness and weight of the films practically do not change, and the breakdown voltage is reduced significantly less than the direct effect of discharges (see. Figure 2.1).

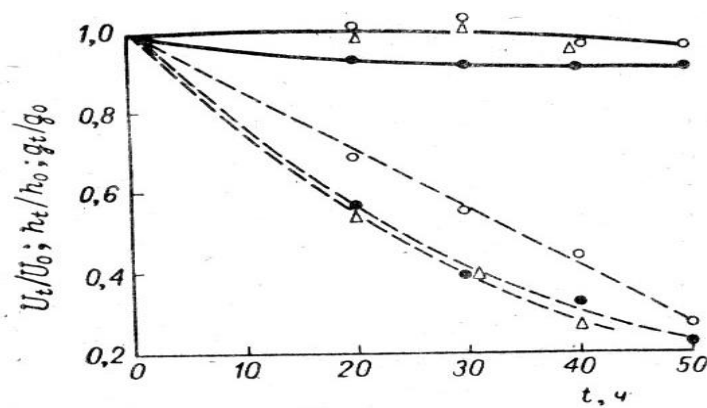


Figure 2.1 - Relative changes in the breakdown voltage (•), mass (Δ) and thickness (○) with aging time for a polyethylene terephthalate film at a voltage of 12 kV

Weak decrease in the breakdown voltage is clearly associated with a decrease in the electrical resistance of the film as a result of reactions with ozone and nitrogen

oxides. Action alone discharge products (ozone and oxides of nitrogen) is not sufficient to change the breakdown voltage of intensive and does not lead to erosion - to decrease the thickness and weight of film. Direct evidence of the role of partial discharges at an electrical aging of polymer films in an alternating field managed to get a result of the aging tests under various conditions. Firstly, it was shown exception partial discharge by placing test samples in vacuum at $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ leads to very sharp increase in the lifetime τ compared with the values obtained in the tests in the air, i.e. in the presence of sufficiently strong partial discharges (Figure 2.2).

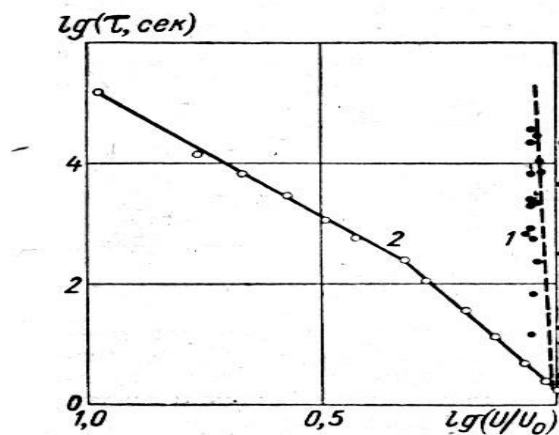


Figure 2.2 – Comparison of the $\lg \tau = f(\lg U / U_0)$, obtained for PTFE films in vacuo (1) and at atmospheric pressure (2) in an alternating field $f = 50\text{Hz}$, $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Secondly, the exclusion of partial discharges by reducing the field to a value of $E = E_i$ and also leads to a very sharp increase in τ compared to those values of τ , which would correspond to the continuation of a straight line segment representing the dependence $\lg \tau = f(\lg E)$. This effect could most clearly be observed in the high-frequency tests (see Figures 2.3, 2.4). Third, increase the repetition rate of n bits by increasing the frequency f of the test voltage leads to a reduction inversely proportional to the lifetime τ in the range $E_i < E < E^*$.

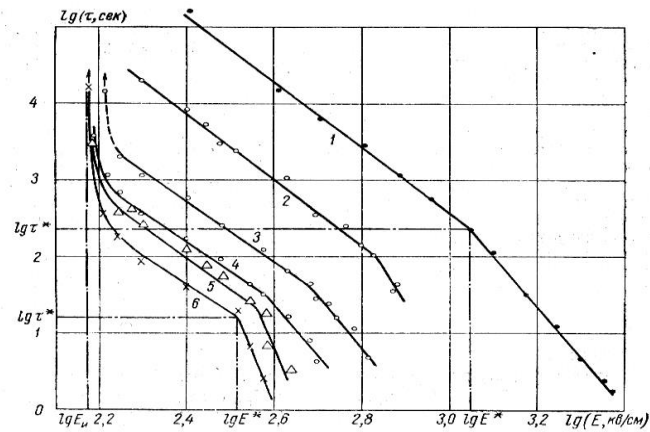


Figure 2.3 - Dependencies $\lg \tau = \tau (\lg E)$ for the PTFE film in an alternating field frequency of 50 Hz (1), 900 Hz (2), 16 kHz (3), 50 kHz (4), 104 kHz (5), 240 kHz (6)

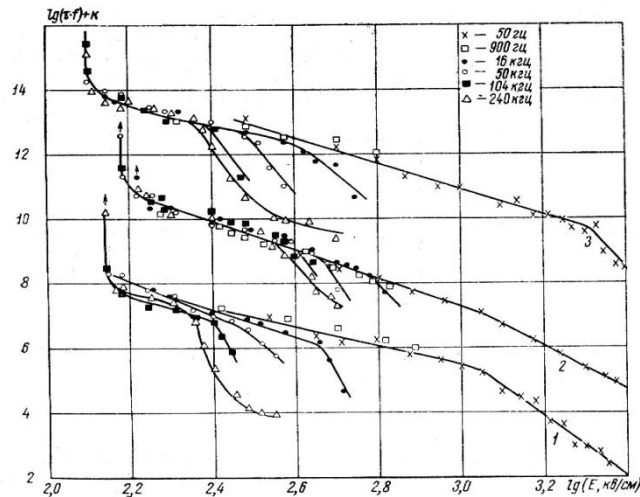


Figure 2.4 - Detective $\lg (\tau f) + K = \varphi (\lg E)$ to PS films, $K = 0$ (1), PTFE, $K = 3$ (2), PET, $K = 6$ (3) at different frequencies of the alternating field

For a more detailed study of the role of electrical discharges during the aging of polymeric films not only in a variable, but also in a constant field should be compared with each other according to the repetition rate of n bits and the lifetime τ on the field intensity and temperature. Experimental test revealed that indeed PD indicator readings independent from the test PTFE film temperature in the range from 25 to 250 °C. On the other hand, as shown in Figure 2.1, the lifetime of polymer dielectrics at a given value E is also almost independent of temperature. PTFE - in the temperature range from 20 to 1000C, while PS and PET - t up to the point where

there is a change of physical properties of films only by the action of elevated temperature. The constancy of the characteristics of discharge and the lifetime of polymer films when the temperature changes again confirms that the aging of the films within the marked range t in an alternating field is actually caused by the partial discharge. According to the theory, the repetition frequency of n bits in a constant electric field should be determined by the dielectric conductivity γ . If the electric aging polymeric films and in the constant field caused discharge, depending on the τ , n , and γ from the temperature should be similar. To test this assumptions we were studied and depending on $\lg \tau = f(1/T)$, $\lg n = f(1/T)$, $\lg \gamma = f(1/T)$. Part of the results obtained for film PE, PS, PET is shown in Figure 2.5, ... 2.7.

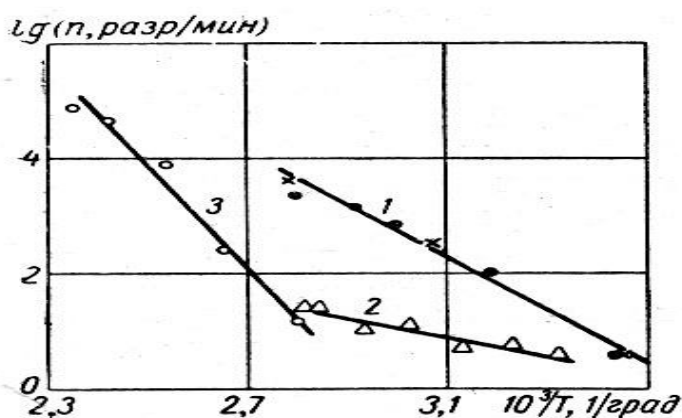


Figure 2.5 - Dependence $\lg n = f(1/T)$ for PE films (1), PS (2) and PET (3) in a constant field

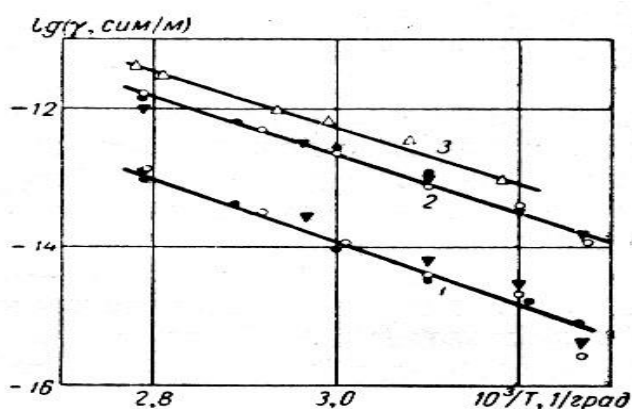


Figure 2.6 - Dependence $\lg \gamma = f(1/T)$ for PE film: $E = 175 \text{ kV/cm}$ (1) to 525 kV/cm (2), 1080 kV/cm (3)

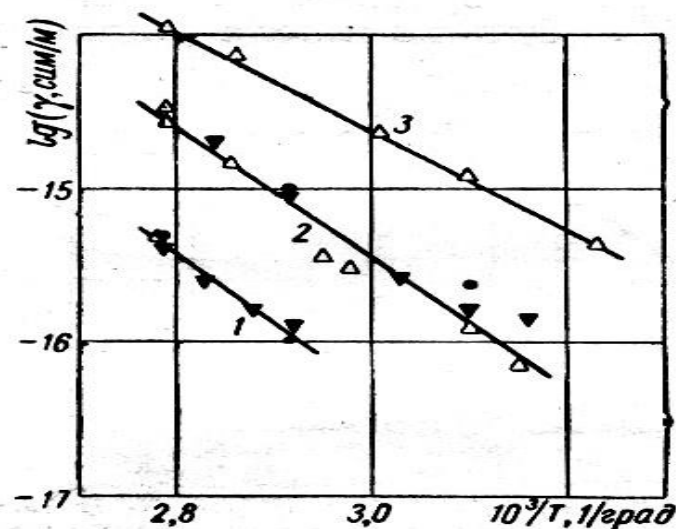


Figure 2.7 - Dependence $lg \gamma = f(1/T)$ for a PET film, $E = 100 \text{ kV/cm}$ (1) to 260 kV/cm (2), 750 kV/cm (3)

The same character of dependences τ , n , γ temperature favors the hypothesis according to which the aging of polymeric films and in a constant electric field caused by discharges.

3 Failure of the insulation on the basis of the theory thermofluctuational

In 1952 in the laboratory of the A.F Ioffe Institute of Strength Physics led S.N Zhurkov were organized systematic study of temperature - time dependence of the strength of solids.

According to the kinetic theory of thermofluctuational S.N Zhurkov, the destruction of the material is due to the rupture of chemical bonds, which is caused by the combined action of the energy of the thermal motion of molecules and some external forces (mechanical load, the electric field and others). Just break the chemical bond weakened by environmental stress is due to the kinetic energy of the thermal fluctuations of the vibrational motion of the atoms or molecules. The possibility of using the theory of thermofluctuational S.N Zhurkov to estimate the

time to the breakdown of polymer dielectrics indicated in [7-10]. In [11], based on the theory of thermofluctuational, V.S Dmitrevsky was obtained equation of life with respect to polymer dielectrics:

$$\tau = \tau_0 e^{\frac{D \cdot \varphi(x)}{2KT}}, \quad (3.1)$$

where, τ_0 - time constant;

D - breaking energy of a chemical bond;

$\varphi(x)$ - a function of the current load (x), causing a decrease in the potential barrier:

$$\varphi(x) = \sqrt{1-2x} - x \ln \left[\frac{1}{x} + \frac{1}{x} \sqrt{1-2x} - 1 \right], \quad (3.2)$$

$$x = \frac{1}{D} \sqrt{(Ae^{-bT} \beta \eta E)^2 + (\gamma \sigma)^2}. \quad (3.3)$$

Here, A, γ , b - parameters of the equation requiring prior determination;

η - coefficient taking into account the increase of the electric field due to the form of the electrodes;

β - coefficient taking into account the increase of the electric field due to heterogeneity of the structure of the dielectric material;

σ - mechanical load [N / m];

E - intensity of the applied electric field [V / m];

b - coefficient reflecting the change in elastic modulus of the material with temperature.

4 Experimental part

In first chapter in the analysis of literature data, it has been shown that as a result of prolonged exposure to the electric field, especially at elevated temperature, dielectric (electrical insulation) gradually worsen their main properties - there is electrical aging, ending ultimately, breakdown of the dielectric (yield isolation or dielectric parts of the system).

The study of the causes of electrical insulation aging, and the aging of laws (depending on the lifetime of the dielectric field strength and temperature at which the its operation) is a prerequisite for the development of science-based and fairly reliable methods of calculation of electrical designs for reliability.

Such structures and cables are used to supply submersible pumps in oil wells.

As of the objects were chosen cables brand of KPpBK insulated with ethylene block copolymer polypropylene, designed for continuous operation at temperatures of about 120 - 140 0C.

For testing insulated cable cores were taken from the insulation thickness of 0.3 mm.

4.1 Selection of the test of the electric field and temperature

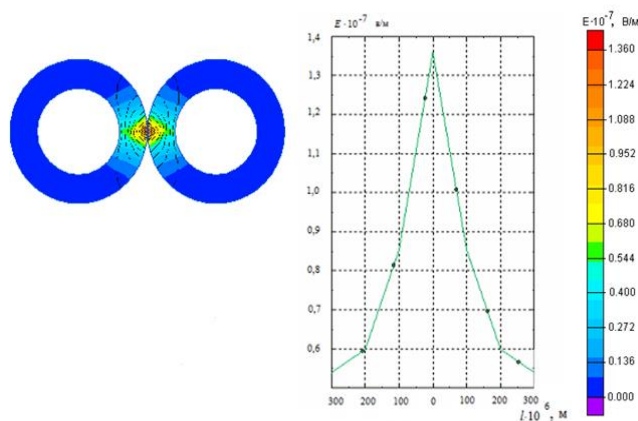


Figure 4.1.1 - pattern of the electric field distribution, and graph the field strength in the thickness of insulation samples at a test voltage of 5 kV, 50 Hz

As seen from the Figure 4.1 at the test voltage 5kV maximum electric field intensity is equal to $E1 = 1.35 \cdot 10^7 \text{ V / m}$ and has a place in the middle of the point of tangency of insulation that meets the condition, ie, where the greatest angle of the tangent to the stress distribution curve.

When a test voltage of 7 kV maximum electric field intensity is equal to $E2 = 1.9 \cdot 10^7 \text{ V / m}$.

If we assume that in the samples, which represent two-wire electrode system (cylinder - cylinder) operates a uniform electric field, the electric field strength is equal to

$$E = \frac{5000}{0,6 \cdot 10^{-3}} = 0,8 \cdot 10^7 \quad (4.1.1)$$

A temperature were chosen $T = 100$, $T = 130$ and the $T = 140$ $^{\circ}\text{C}$ at the request of the customer corporation "Sibkabel".

4.1 Results of the experiments for up to breakdown and their description

To evaluate the effect of temperature on time to break, two levels of master field intensities were chosen equal to $E1 = 1,25 \cdot 10^7$ and $E2 = 1,9 \cdot 10^7 \text{ V / m}$.

Table 1 – Average time of breakdown at $U = 5$ and 7 kV

$E1=1,25 \cdot 10^7 \text{ V/m}$		$E2= 1,9 \cdot 10^7 \text{ V/m}$	
$T=130^{\circ}\text{C}$	$T=140^{\circ}\text{C}$	$T=130^{\circ}\text{C}$	$T=140^{\circ}\text{C}$
$\tau_{cp} = 1,628 \times 10^5$	$\tau_{cp} = 9,15 \times 10^4$	$\tau_{cp} = 1,029 \times 10^5$	$\tau_{cp} = 6,521 \times 10^4$

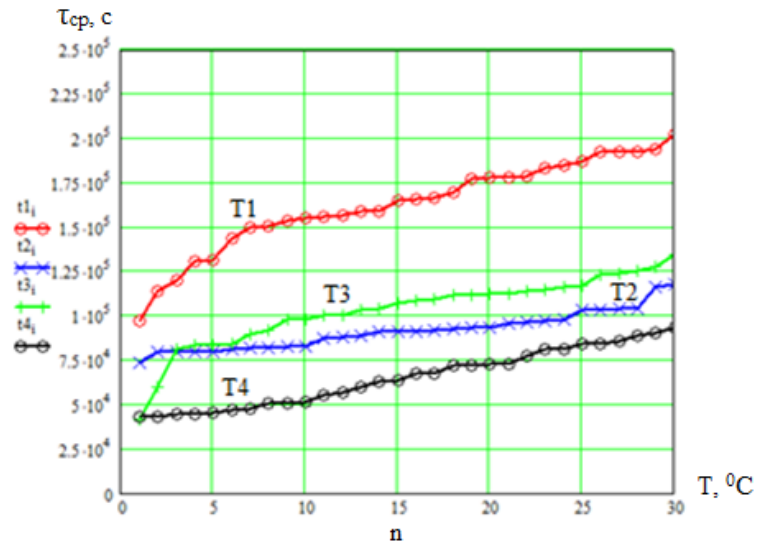


Figure 4.1.1 - Timing curves up to the breakdown at different voltages at the same temperature $T= 130$ and $T= 140$ °C

Table 2 – Average time of breakdown at $U= 7$ kV

$E2= 1,9 \cdot 10^7$ V/m				
$T=60$ °C	$T=80$ °C	$T=100$ °C	$T=130$ °C	$T=140$ °C
$\tau_{cp}= 7,94 \times 10^4$	$\tau_{cp}= 9,577 \times 10^4$	$\tau_{cp}= 1,314 \times 10^5$	$\tau_{cp}= 1,029 \times 10^5$	$\tau_{cp}= 6,521 \times 10^4$

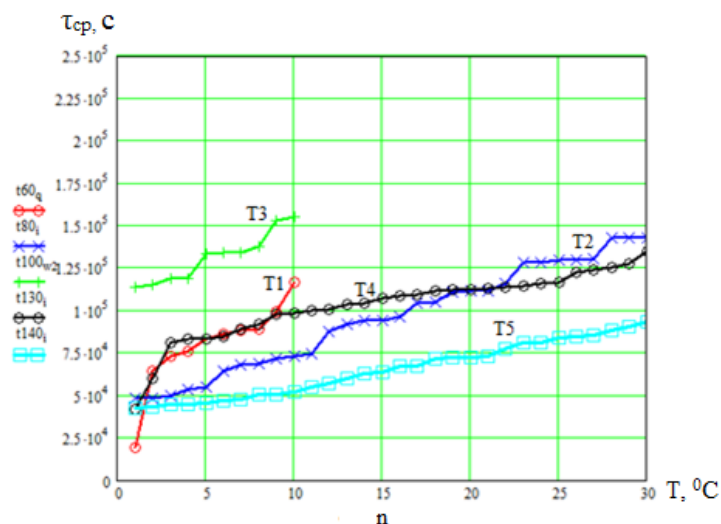


Figure 4.1.2 – Timing curves up to the breakdown at the same voltages, different temperatures

It notes that the increase of the applied voltage leads to a reduction of time until the breakdown. All this corresponds to the literature data, set out in Chapter 1.

The figure shows that with increasing temperature decreases the time to breakdown.

Next, consider the measurement of capacity and to breakdown after breakdown. Which is shown in table 3

Table 3 – Changes $\text{tg}\delta$ C and at $T = 100$ and the $T = 60$ °C before and after the break

	T=100 °C to breakdown		T=100 °C after the breakdown		T=60 °C to breakdown		T=60 °C after the breakdown	
№	tgδ	C, pF	tgδ	C, pF	tgδ	C, pF	tgδ	C, pF
1	0,146	5,149	0,139	4,686	0,136	5,352	0,083	3,947
2	0,257	5,351	0,166	4,943	0,086	5,273	0,07	3,758
3	0,41	5,379	0,089	5,068	0,19	5,158	0,186	3,237
4	0,107	5,255	0,058	4,932	0,024	4,949	0,023	3,245
5	0,033	5,07	0,08	4,879	0,025	5,344	0,041	3,571
6	0,469	5,332	0,149	4,875	0,042	5,374	0,075	3,672
7	0,082	5,118	0,065	4,811	0,068	5,256	0,013	3,348
8	0,191	4,854	0,189	5,581	0,078	5,72	0,021	3,898
9	0,1	5,221	0,085	4,758	0,031	5,517	0,024	3,642
10	0,03	4,795	0,214	4,374	0,023	5,759	0,045	3,851
ср.время	0,146	5,152	0,123	4,791	0,07	3,583	0,258	3,583

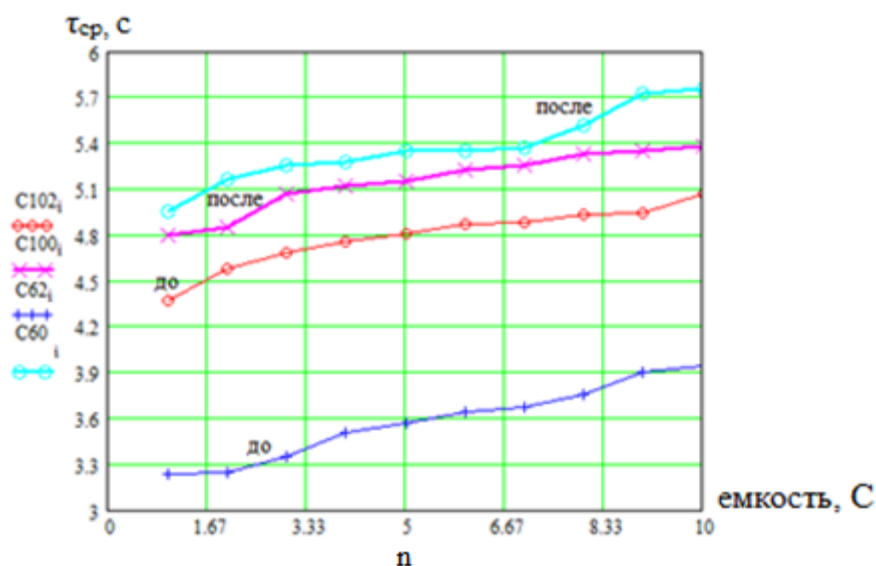


Figure 4.1.3 - distribution curves of aging time for different containers

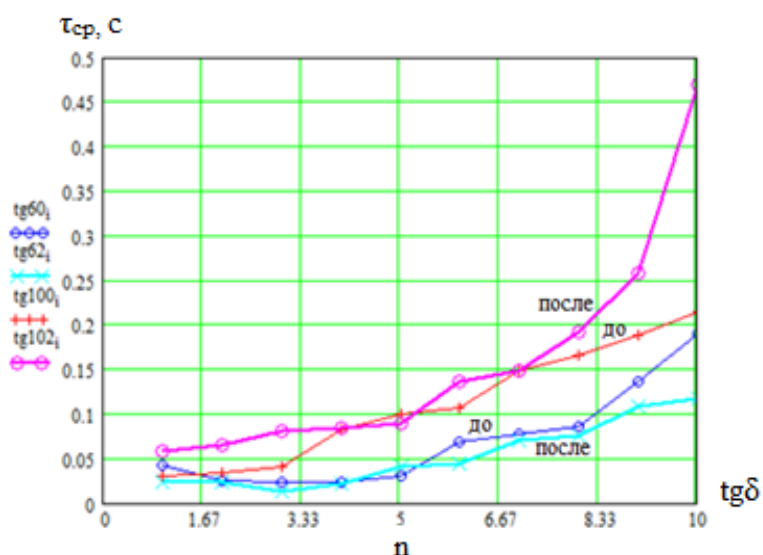


Figure 4.1.4 – distribution curves at different aging time $tg\delta$

On the basis of the data obtained it can be seen as a change of these characteristics after aging. those. noted an increasing trend $\tau\delta$., indicating that the process of aging, thereby increasing $\tau\delta$. One can also note samples discoloration (darkening) in the aging process.

Conclusion

Based on the results of the research that has been conducted, the following conclusions can be drawn:

1. It is established that the time before breakdown with temperature increase and intensity of electric field decreases.
2. It is shown that for an explanation of influence of temperature and intensity of electric field for the time before breakdown can be used the thermofluctuation theory.
3. The received experimental results coordinated with results of calculation according to the thermofluctuation theory.

References

1. Меркулов В.И. Математическое моделирование в электроизоляционных конструкциях. : Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – 152с.

List of literature used for analysis

2. Alewine K., Frost N., Michaels D., Miller G., Wacker T.. Insulation Materials for Low Voltage Applications, Energy Asia, 2008.

3. Alewine K., Frost N., Michaels D., Miller G., Wacker T.. Insulation Materials for Low Voltage Applications, Energy Asia. 2005.

4. Chapman M., Bruetsch R., Frost N. Insulation Systems for Rotating Low-Voltage Machines, International Symposium on Electrical Insulation – Vancouver, Canada, 2008.

5. Michael Chapman, Nancy Frost, Rudolf Bruetsch, Von Roll. Insulation Systems for Rotating Low-Voltage Machines Switzerland Ltd., 4226 Breitenbach, Switzerland, Von Roll USA, Inc., Schenectady – New York, USA, 2009.

6. Frost N., Chapman M., Bruetsch R. Considerations for Rotating Low-Voltage Machine Insulation Design, International Symposium on Electrical Insulation – Vancouver, Canada, 2008.

7. Frost N., Miller G., Alewine K. Introduction to Insulation Materials, short course presented at 2007 EIC/EME, Nashville, TN, 2007.

Приложения В

Описание экспериментальных результатов на время до пробоя

Результаты испытаний приведены в приложении В

Таблица 1 – Результаты испытаний

	5 кВ		7 кВ			
№	T= 140 ⁰ C	T= 130 ⁰ C	T= 140 ⁰ C	T= 130 ⁰ C	T= 100 ⁰ C	T= 80 ⁰ C
1	7,35×10 ⁴	9,702×10 ⁴	4,284×10 ⁴	4,146×10 ⁴	11,4×10 ⁴	4,836×10 ⁴
2	7,932×10 ⁴	1,137×10 ⁵	4,308×10 ⁴	5,982×10 ⁴	11,5×10 ⁴	4,868×10 ⁴
3	7,95×10 ⁴	1,198×10 ⁵	4,446×10 ⁴	8,088×10 ⁴	11,9×10 ⁴	4,974×10 ⁴
4	7,962×10 ⁴	1,306×10 ⁵	4,452×10 ⁴	8,328×10 ⁴	11,9×10 ⁴	5,364×10 ⁴
5	7,998×10 ⁴	1,312×10 ⁵	4,722×10 ⁴	8,334×10 ⁴	13,3×10 ⁴	5,508×10 ⁴
6	8,154×10 ⁴	1,435×10 ⁵	4,74×10 ⁴	8,435×10 ⁴	13,4×10 ⁴	6,444×10 ⁴
7	8,172×10 ⁴	1,496×10 ⁵	5,04×10 ⁴	8,922×10 ⁴	13,4×10 ⁴	6,798×10 ⁴
8	8,178×10 ⁴	1,507×10 ⁵	5,07×10 ⁴	9,174×10 ⁴	13,8×10 ⁴	6,846×10 ⁴
9	8,28×10 ⁴	1,533×10 ⁵	5,178×10 ⁴	9,78×10 ⁴	15,3×10 ⁴	7,146×10 ⁴
10	8,286×10 ⁴	1,55×10 ⁵	5,52×10 ⁴	9,816×10 ⁴	15,5×10 ⁴	7,338×10 ⁴
11	8,7×10 ⁴	1,562×10 ⁵	5,706×10 ⁴	9,985×10 ⁴		7,458×10 ⁴
12	8,826×10 ⁴	1,565×10 ⁵	5,988×10 ⁴	1,004×10 ⁵		8,778×10 ⁴
13	8,844×10 ⁴	1,592×10 ⁵	6,27×10 ⁴	1,033×10 ⁵		9,18×10 ⁴
14	9,084×10 ⁴	1,592×10 ⁵	6,36×10 ⁴	1,04×10 ⁵		9,378×10 ⁴

15	$9,09 \times 10^4$	$1,652 \times 10^5$	$6,714 \times 10^4$	$1,073 \times 10^5$		$9,414 \times 10^4$
16	$9,096 \times 10^4$	$1,659 \times 10^5$	$6,72 \times 10^4$	$1,085 \times 10^5$		$9,618 \times 10^4$
17	$9,922 \times 10^4$	$1,669 \times 10^5$	$7,188 \times 10^4$	$1,097 \times 10^5$		$1,042 \times 10^5$
18	$9,228 \times 10^4$	$1,696 \times 10^5$	$7,224 \times 10^4$	$1,115 \times 10^5$		$1,111 \times 10^5$
19	$9,366 \times 10^4$	$1,77 \times 10^5$	$7,278 \times 10^4$	$1,12 \times 10^5$		$1,112 \times 10^5$
20	$9,372 \times 10^4$	$1,787 \times 10^5$	$7,734 \times 10^4$	$1,126 \times 10^5$		$1,113 \times 10^5$
21	$9,552 \times 10^4$	$1,778 \times 10^5$	$7,078 \times 10^4$	$1,127 \times 10^5$		$1,16 \times 10^5$
22	$9,618 \times 10^4$	$1,787 \times 10^5$	$7,485 \times 10^4$	$1,14 \times 10^5$		$1,281 \times 10^5$
23	$9,69 \times 10^4$	$1,832 \times 10^5$	$8,088 \times 10^4$	$1,148 \times 10^5$		$1,285 \times 10^5$
24	$9,768 \times 10^4$	$1,845 \times 10^5$	$8,094 \times 10^4$	$1,159 \times 10^5$		$1,298 \times 10^5$
25	$1,033 \times 10^4$	$1,874 \times 10^5$	$8,43 \times 10^4$	$1,169 \times 10^5$		$1,298 \times 10^5$
26	$1,033 \times 10^5$	$1,921 \times 10^5$	$8,448 \times 10^4$	$1,228 \times 10^5$		$1,304 \times 10^5$
27	$1,035 \times 10^5$	$1,927 \times 10^5$	$8,568 \times 10^4$	$1,237 \times 10^5$		$1,427 \times 10^5$
28	$1,038 \times 10^5$	$1,928 \times 10^5$	$8,862 \times 10^4$	$1,256 \times 10^5$		$1,428 \times 10^5$
29	$1,159 \times 10^5$	$1,941 \times 10^5$	$9,024 \times 10^4$	$1,227 \times 10^5$		$1,428 \times 10^5$
30	$1,176 \times 10^5$	$2,024 \times 10^5$	$9,372 \times 10^4$	$1,349 \times 10^5$		$1,43 \times 10^5$
ср. время	$9,15 \times 10^4$	$1,628 \times 10^5$	$6,521 \times 10^4$	$1,029 \times 10^5$	$1,314 \times 10^5$	$9,577 \times 10^4$